

**(57) Abstract:** A laser Doppler radar apparatus capable of measurement with a high S/N ratio even when the phase of the received light fluctuates and detecting a wind speed in a measurement range even when signal components of a plurality of ranges are overlapped on the received light. The apparatus comprises a light source, a code series generator for generating a modulation signal in accordance with a code series, an optical modulation device for FSK-modulating a light signal from the light source by two frequencies in accordance with the modulation signal, an optical transmission/reception block for transmitting the FSK-modulated optical signal into the atmosphere and receiving a reception light from a plurality of ranges in the atmosphere, an optical divider for dividing the light signal from the light source and generating a local light, a heterodyne receiver for heterodyne-detecting the received light with the local light, a converter for A/D converting the detected signal, and a signal processing block for processing the converted signal. The signal processing block cancels a signal component from a range other than one measurement range in the atmosphere and detects a Doppler frequency in the measurement range.



---

(57) 要約:

受信光の位相揺らぎがある場合においても高いS/N比での計測が可能で、且つ、受信光に複数のレンジからの信号成分が重畳する場合においても計測レンジにおける風速の検出を行うことを可能にするもので、光源と、符号系列に基づいた変調信号を発生する符号系列発生器と、光源からの光信号を変調信号に基づいて2つの周波数によりFSK変調する光変調器と、FSK変調された光信号を大気中に送信すると共に、大気中からの複数のレンジからの受信光を受信する送受光学部と、光源からの光信号を分配してローカル光を発生する光分配器と、受信光とローカル光とのヘテロダイン検波を行うヘテロダインレシーバと、検波された信号をA/D変換する変換器と、その変換信号を処理する信号処理部とを備え、信号処理部は、大気中における1つの計測レンジ以外の他のレンジからの信号成分をキャンセルし、計測レンジにおけるドップラー周波数の検出を行う。

## 明 細 書

## レーザードップラーレーダ装置

技術分野

この発明は、レーザ光を大気中に送信して反射体の移動速度を検出するレーザードップラーレーダ装置に関するものであり、特に、反射体が例えば大気中に散在するエアロゾルであり、大気中の複数のレンジからの信号が重畳されて受信される場合に、所望の計測レンジからの信号成分のみを抽出し、計測レンジにおける風速を、高いS/N比で計測するものに関する。

背景技術

従来のこの種の技術としては、所望の距離分解能に相当する時間幅を持つパルス光を大気中に送信し、計測レンジからの受信光が受信される時間帯に時間ゲートをかけ、この時間ゲートにおけるスペクトル解析を行うことで風速のドップラー周波数を検出するものが広く知られている。

この方法を用いて高いS/N比での計測を行うには、高いピークパワーを持つパルス光を送受することが考えられる。しかし、現存のレーザ装置により送信可能なパルス光のピークパワーには制限がある。より高いS/N比での計測を行うには、変調された光信号を大気中に送信し、受信信号を復調する際のパルス圧縮効果によりS/N比を改善する方法を用いることが考えられる。

このような方法を用いたレーザードップラーレーダ装置の一例として、特開2000-338246号公報に示されたものが知られている。図21は、特開2000-338246号公報に示されたレーザードップラーレーダ装置の構成図である。図21において、1は光源、2は光分配器、3は光変調器、4は符号系列発生器、5は光増幅器、6は送受光学部、7はヘテロダインレシーバ、13は信号処理部、17は相関器、18は可変遅延器である。

次に、図21に示すレーザードップラーレーダ装置の動作について説明する。光源1からの光信号は、光分配器2により2分配され、一方は光変調器3に、他

方はヘテロダインレシーバ7に送られる。光変調器3に送られた信号は、符号系列発生器4からの符号系列に基づいた変調信号により位相変調される。符号系列発生器4からの変調信号は、可変遅延器18により、光信号の計測レンジまでの往復時間に相当する時間だけ遅延された後、相関器18に送られる。

符号系列変調された信号は、光増幅器5により増幅された後、送受光学部6を介して大気中に送信される。例えばエアロゾルのような大気中の反射体からの受信光は、送受光学部6を介して受信され、ヘテロダインレシーバ7によりヘテロダイン検波される。

ヘテロダイン検波された信号は、相関器18に送られ、時間遅延が施された変調信号と積算されることにより、相関がとられる。このとき、計測レンジからの受信光信号成分のみが前記変調信号と相関を有するので、相関器17からの相関信号の周波数は、計測レンジにおけるドップラー周波数となる。次に、信号処理部13により相関器17からの相関信号の周波数解析を行い、ドップラー周波数の検出を行う。

以上の動作より、受信光に複数のレンジからの信号が重畳する場合でも、計測レンジからの成分を抽出し、計測レンジにおけるドップラー周波数を検出しているとしている。

しかしながら、大気中からの受信光は、実際にはランダムな位相揺らぎを持つため、位相変調を施した光信号を送信しても、受信光においては変調位相が保存されない。したがって、相関器17において相関がとられた際に、計測レンジからの信号成分を抽出することができないという問題があった。

なお、特開2000-338246号公報では、変調方式は、位相変調でなくとも、周波数変調でもよいと記載されている。しかし、前記動作における復調動作、つまり、相関器17でのかけ算により計測レンジからの信号成分のみを抽出するには、変調方式は位相変調である必要があった。特開2000-338246号公報では、変調方式が周波数変調である場合の具体的な復調方法を持ち合わせていなかった。

また、周波数変調された光信号を大気中に送信するレーザードップラーレーダ装置としては、特開平3-75581号公報に示されたものが知られている。図

図 22 は、特開平 3-75581 号公報に示されたレーザードップラーレーダ装置の構成図である。図 22 において、図 21 と同一部分は同一符号を付してその説明は省略する。新たな符号として、1a および 1b は光源、21 および 22 は光分配器、15 は光周波数管理者、19 はバンドパスフィルタ、20 はハイパスフィルタである。図示はしないが、特開平 3-75581 号公報では、大気中の 1 箇所からの受信光が受信される場合、つまり、反射体が航空機、自動車等のハードターゲットである場合について記載されている。

次に、図 22 に示すレーザードップラーレーダ装置の動作について説明する。符号系列発生器 4 からの符号系列に基づいた変調信号にしたがって、光源 1a から FSK (Frequency Shift Keying) された光信号が送信光として送信される。前記変調信号は、可変遅延器 18 により、光信号の計測レンジまでの往復時間に相当する時間だけ遅延された後、光源 1b に送られ、光源 1b から、FSK された光信号がローカル光として生じる。

光分配器 21 と 22 を介した送信光の一部とローカル光の一部は、光周波数管理者 15 に送られ、光源 1a と光源 1b から発生する光信号の周波数差が一定となるように光源 1b から発生する光信号の周波数が管理される。

送信光は、送受光学部 6 を介して大気中に送信される。大気中の反射体からの受信光は、送受光学部 6 を介して受信される。受信光とローカル光は、ヘテロダインレシーバ 7 によりヘテロダイン検波される。ヘテロダインレシーバ 7 からの信号は 2 分され、バンドパスフィルタ 19 とハイパスフィルタ 20 にそれぞれ送られる。

以上の動作を可変遅延器 18 における遅延時間を変化させながら行い、ハイパスフィルタ 20 の出力が最大となる遅延時間からターゲットまでの距離を検出する。また、バンドパスフィルタ 19 の出力信号を周波数解析することから、ターゲットの移動速度を検出する。

しかしながら、特開平 3-75581 号公報に示されたレーザードップラーレーダ装置は、上述したように、反射体が航空機、自動車等のハードターゲットである場合に、その移動速度を検出するものであった。特開平 3-75581 号公報に示されたレーザードップラーレーダ装置では、反射体が例えば大気中のエア

ロゾルであり、受信光に複数のレンジからの信号が重畳する場合において、所望の計測レンジからの信号成分のみを抽出し、計測レンジにおける風速を検出することはできなかった。

この発明は前記事情に鑑みてなされたもので、F S K (Frequency Shift Keying) 方式を用いて受信光の位相揺らぎがある場合においてもパルス圧縮効果による高いS/N比での計測を可能とし、且つ、受信光に複数のレンジからの信号成分が重畳する場合においても所望の計測レンジからの成分を抽出して計測レンジにおける風速の検出を行うものである。

### 発明の開示

この発明に係るレーザードップラーレーダ装置は、光源と、+もしくは-の符号からなる符号系列に基づいた変調信号を発生する符号系列発生器と、前記光源からの光信号を、前記符号系列発生器からの変調信号に基づいて2つの周波数によりF S K (Frequency Shift Keying) 変調する光変調器と、前記光変調器によりF S K変調された光信号を大気中に送信すると共に、大気中からの複数のレンジからの受信光を受信する送受光学部と、前記光源からの光信号を分配してローカル光を発生する光分配器と、前記送受光学部からの受信光と前記光分配器からのローカル光とのヘテロダイン検波を行うことにより光信号を電気信号に変換するヘテロダインレシーバと、前記ヘテロダインレシーバからの電気信号をA/D変換するA/D変換器と、前記A/D変換器によりA/D変換した信号を信号処理する信号処理部とを備え、前記信号処理部は、大気中における1つの計測レンジ以外の他のレンジからの信号成分をキャンセルし、計測レンジにおけるドップラー周波数の検出を行う機能を有する。

また、前記光変調器は、変調信号の+と-に対応して2つの周波数 $f_1$ と $f_2$ だけ前記光源からの光信号の周波数 $f_0$ に対して周波数シフトさせる。

また、前記光源の数を2つとし、前記光変調器は、前記符号系列発生器からの変調信号に基づいて2つの光源からの光信号の一方を選択して出力する光スイッチでなる。

また、前記符号系列は、M系列である。

また、前記符号系列は、相補系列であり、前記光変調器は、パルス変調機能を有する。

また、前記信号処理部は、前記A/D変換機によりA/D変換した信号を符号系列の1ビットに対応する時間幅毎にゲート分割するゲート分割機能と、前記ゲート分割機能により分割された各ゲートに含まれる信号のパワースペクトルを求めるスペクトル解析機能と、前記スペクトル解析機能により求められた各ゲートのスペクトルに対し、送信時に用いた符号系列に対応した処理を行う処理機能と、符号系列に対応した前記処理機能により処理が施された各ゲートの処理結果をゲート間および符号系列間にわたって積算する積算機能と、前記積算機能による積算結果における負の周波数領域の信号強度に-1を乗じ、絶対値が等しい正の周波数の信号強度に前記-1を乗じた信号強度を足し合わせる機能とを有し、風速のドップラー周波数を $f_d$ とし、前記パワースペクトルにおいて、大気中からの信号成分の信号強度が存在する周波数を、符号系列の+と-に対応して周波数 $-f_d$ と周波数 $+f_d$ 、もしくは符号系列の+と-に対応して周波数 $+f_d$ と周波数 $-f_d$ とする。

また、周波数が $(f_1 + f_2)/2$ の発振信号を出力する第1の発振器と、前記ヘテロダインレシーバからの出力信号と前記第1の発振器からの発振信号とをミキシングする第1のミキサと、前記第1のミキサの出力を2分配する $0^\circ$ 分配器と、周波数が $(f_1 - f_2)/2$ の発振信号を出力する第2の発振器と、前記第2の発振器からの発振信号を2分配する $90^\circ$ 分配器と、前記 $0^\circ$ 分配器から一方の出力と前記 $90^\circ$ 分配器から一方の出力とをミキシングする第2のミキサと、前記 $0^\circ$ 分配器からの他方の出力と前記 $90^\circ$ 分配器からの他方の出力とをミキシングする第3のミキサとを備え、前記第2と第3のミキサの出力により、パワースペクトルにおいて、大気中からの信号成分の信号強度が存在する周波数を、符号系列の+と-に対応して周波数 $-f_d$ と周波数 $+f_d$ 、もしくは符号系列の+と-に対応して周波数 $+f_d$ と周波数 $-f_d$ とすることを實現する。

また、周波数が $(f_1 + f_2)/2$ の発振信号を出力する第1の発振器と、前記ヘテロダインレシーバからの出力信号と前記第1の発振器からの発振信号とをミキシングする第1のミキサとを備えると共に、前記信号処理部は、求められた

パワースペクトルの周波数軸の値から  $(f_2 - f_1) / 2$  の値を差し引く機能を有し、前記第 1 のミキサの出力と前記信号処理部により、パワースペクトルにおいて、大気中からの信号成分の信号強度が存在する周波数を、符号系列の＋と－に対応して周波数  $-f_d$  と周波数  $+f_d$ 、もしくは符号系列の＋と－に対応して周波数  $+f_d$  と周波数  $-f_d$  とすることを実現する。

さらに、前記信号処理部は、前記パワースペクトルの周波数軸の値から  $(f_2 + f_1) / 2$  の値を差し引く機能と、正の周波数領域について周波数に関して  $(f_2 - f_1) / 2$  だけシフトさせる機能と、負の周波数領域について周波数に関して  $(f_2 - f_1) / 2$  だけシフトさせ、さらに周波数に関する符号を反転する機能とを有し、パワースペクトルにおいて、大気中からの信号成分の信号強度が存在する周波数を、符号系列の＋と－に対応して周波数  $-f_d$  と周波数  $+f_d$ 、もしくは符号系列の＋と－に対応して周波数  $+f_d$  と周波数  $-f_d$  とすることを實現する。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 2 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 3 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 4 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 5 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 6 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 7 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、



図 8 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 9 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 10 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 11 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 12 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 13 は、この発明の実施の形態 2 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 14 は、この発明の実施の形態 2 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 15 は、この発明の実施の形態 3 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 16 は、この発明の実施の形態 3 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 17 は、この発明の実施の形態 3 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 18 は、この発明の実施の形態 4 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 19 は、この発明の実施の形態 4 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 20 は、この発明の実施の形態 4 に係るレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 21 は、従来のレーザードップラーレーダ装置を説明するための図、

図 22 は、従来のレーザードップラーレーダ装置を説明するための図である。

発明を実施するための最良の形態

## 実施の形態 1.

この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置について図 1 から図 12 を用いて説明する。図 1 は、この発明の実施の形態 1 に係るレーザードップラーレーダ装置の構成図である。図 1 において、1 は光源、2 は光分配器、3 は光変調器、4 は符号系列発生器、5 は光増幅器である。6 は光サーキュレータとしての機能を有する送受光学部であり、この送受光学部 6 を介して送信光が大気中に対して送信される。7 はヘテロダインレシーバ、8 1、8 2 および 8 3 はミキサ、9 1 と 9 2 は発振器、10 は  $0^\circ$  分配器、11 は  $90^\circ$  分配器である。また、12 は A/D 変換器、13 は信号処理部である。

図 1 において、光源 1 は、光分配器 2 に接続されており、光分配器 2 の 2 つの出力の内の一方はヘテロダインレシーバ 7 に接続されている。他の一方は光変調器 3 に接続されている。光変調器 3 は、符号系列発生器 4 と光増幅器 5 とに接続されている。符号系列発生器 4 は、A/D 変換器 12 に接続されている。光増幅器 5 は、送受光学部 6 に接続されている。送受光学部 6 は、ヘテロダインレシーバ 7 に接続されている。ヘテロダインレシーバ 7 は、 $0^\circ$  分配器 10 に接続されている。 $0^\circ$  分配器 10 の入力ミキサ 8 1 に接続されている。ミキサ 8 1 は、発振器 9 1 と  $0^\circ$  分配器 10 に接続されている。 $0^\circ$  分配器 10 の 2 つの出力は、ミキサ 8 2 と 8 3 にそれぞれ接続されている。発振器 9 2 は、 $90^\circ$  分配器 11 に接続されている。 $90^\circ$  分配器 11 の 2 つの出力は、ミキサ 8 2 と 8 3 にそれぞれ接続されている。ミキサ 8 2 と 8 3 は、A/D 変換器 12 に接続されている。A/D 変換器 12 は、信号処理部 13 に接続されている。

図 1 において、光源 1 と光分配器 2 との間、光分配器 2 とヘテロダインレシーバ 7 との間、光分配器 2 と光変調器 3 との間、光変調器 3 と光増幅器 5 との間、光増幅器 5 と送受光学部 6 との間、送受光学部 6 とヘテロダインレシーバ 7 との間は光ファイバケーブルにより接続されている。他の部品間は電線ケーブルにより接続されている。

また、光源 1 は、連続波で周波数  $f_0$  の光信号を発生する機能を有している。符号系列発生器 4 は、符号系列に基づいた変調信号を発生して光変調器 3 に送信

する機能を有している。また、変調信号の送信タイミングを知らせるトリガ信号をA/D変換器12に送信する機能を有している。符号系列の1ビットに対応する時間幅 $\tau$ は、光の伝搬速度を $c$ とし、計測における所望の距離分解能を $d$ とすると、 $\tau = 2d/c$ となる。

光変調器3は、符号系列発生器4からの変調信号に基づいて光信号を変調する機能を有している。光変調器3は、変調信号の+と-に対応して、2つの周波数 $f_1$ と $f_2$ だけ光源1から発生した光信号の周波数 $f_0$ に対して周波数シフトさせる。したがって、光変調器3の出力信号の周波数はFSK (Frequency Shift Keying) され、符号系列の+と-に対応して、 $f_0 + f_1$ と $f_0 + f_2$ となる。また、光変調器3は、変調信号が入力されている時間のみ出力がONとなる、パルス変調機能も有している。1例として、符号系列が+、-、+、-の場合における光変調器3からの出力信号の模式図を図2に示す。

この発明において、符号系列発生器4で発生する符号系列は、文献[1] (宮川他著、符号理論、昭晃堂発行、第5版、pp. 476-499) に示されている、「鋭い相関関数を持つ系列」を用いる。文献[1]に示されている「鋭い相関関数を持つ系列」の例としては、相補系列、M系列等が存在するが、この発明の実施の形態1においては、符号系列発生器4で発生する符号系列が、相補系列の場合について述べる。以下では、相補系列の具体的1例として、

++++ (符号系列1)

++-- (符号系列2)

の2つの系列を用いる場合について述べる。

さらに、この発明におけるミキサ81、82、83は、入力信号の周波数と発振器91、92から発振信号の周波数との差の絶対値に相当する周波数の信号を出力する機能を有する。

次に、この発明の実施の形態1に係るレーザードップラーレーダ装置の動作を説明する。まず、光源1から連続波で周波数 $f_0$ の光信号を送信し、光分配器2によりこの信号を分割する。分割した2つの信号の内、一方はローカル光としてヘテロダインレシーバ7に送られる。

この発明の実施の形態1においては、相補系列である2つの系列、符号系列1

および符号系列 2 を用いるが、まず、符号系列 1 が選択され、符号系列発生器 4 から、この符号系列に基づいた変調信号が光変調器 3 に送信される。また、変調信号の送信タイミングを知らせるトリガ信号を A/D 変換器 1 2 に送信する。

光分配器 2 の 2 つの出力の一方は、光変調器 3 に送られる。光変調器 3 は、符号系列発生器 4 からの変調信号の + と - に対応して、2 つの周波数  $f_1$  と  $f_2$  だけ光源 1 から発生した光信号の周波数  $f_0$  に対して周波数シフトさせる。ここで、 $0 \leq f_1 < f_2$  とする。また、変調信号が入力されている時間のみ光変調器 3 の出力が ON となり、パルス変調される。光変調器 3 の出力信号の周波数は FSK (Frequency Shift Keying) され、符号系列の + と - に対応して、 $f_0 + f_1$  と  $f_0 + f_2$  となる。また、光変調器 3 からの出力信号のパルス幅  $\tau_p$  は、変調信号の時間幅となる。つまり、符号系列の 1 ビットに対応する時間幅  $\tau$  と、符号系列のビット数  $N$  とから、 $\tau_p = \tau \times N$  で表される値となる。

光変調器 3 からの出力信号は、光増幅器 5 により増幅される。光増幅器 5 からの信号は、送受光学部 6 を介して大気中に送信光として送信される。

大気中に送信された送信光は、例えばエアロゾルといった大気中の反射体により反射された後に受信される。このとき、受信光の周波数は、送信光の周波数に対し、送信方向における風速のドップラー周波数だけシフトした値となる。ここで、風速のドップラー周波数を  $f_d$  とすると、符号 + (シフト周波数  $f_1$ ) に対応する送信光に関する反射光の周波数は  $f_0 + f_1 + f_d$  となり、符号 - (シフト周波数  $f_2$ ) に対応する送信光に関する反射光の周波数は  $f_0 + f_2 + f_d$  となる。

ここで、大気中からの受信光について図 3 を用いて説明する。図 3 は、大気中からの受信光について説明を行うための図である。図 3 において、14 はレーザードップラーレーダ装置である。また、 $R_{-3} \sim R_3$  は大気中のレンジの一部であり、ここでは  $R_0$  を計測レンジとする。各レンジの距離幅は、計測における所望の距離分解能  $d$  とする。図 3 中、 $d_1$  はレーザードップラーレーダ装置 14 から計測レンジ  $R_0$  までの距離である。大気中に送信された送信光は、計測レンジ  $R_0$  だけでなく、計測レンジ以外の他のレンジ、例えば  $R_{-3} \sim R_{-1}$ 、 $R_1 \sim R_3$  からも反射される。したがって、受信光には、大気中における計測レンジからの反射

光だけでなく、計測レンジ以外の他のレンジからの反射光が重畳している。

ここで、レンジ $R_{-3}$ 、 $R_{-2}$ 、 $R_{-1}$ 、 $R_0$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ における風速のドップラー周波数 $f_d$ を、 $f_{d-3}$ 、 $f_{d-2}$ 、 $f_{d-1}$ 、 $f_{d0}$ 、 $f_{d1}$ 、 $f_{d2}$ 、 $f_{d3}$ とする。つまり、受信光は、送信光の周波数に対しこれらのドップラー周波数だけシフトした周波数を持つ信号が重畳している。本明細書において、記号 $f_d$ とは、各レンジにおいて異なる値を持つ風速のドップラー周波数を総称するものとする。なお、この発明において、各レンジにおける風速のドップラー周波数 $f_d$ と、各レンジにおける送信光に対する反射率は、計測時間内において一定であるとする。

受信光は、送受光学部6を介してヘテロダインレシーバ7に送られる。ヘテロダインレシーバ7においては、ローカル光と受信光とがヘテロダイン検波されて光信号が電気信号に変換され、2つの信号のビート信号が出力される。符号+（シフト周波数 $f_1$ ）に対応する送信光に関するビート信号の周波数は $f_d + f_1$ となり、符号-（シフト周波数 $f_2$ ）に対応する送信光に関するビート信号の周波数は $f_d + f_2$ となる。

前記ビート信号は、ミキサ81に送られ、発振器91からの発振信号とミキシングされる。発振器91からの発振信号の周波数は $(f_1 + f_2) / 2$ としておく。なお、 $f_1$ および $f_2$ の値は、風速のドップラー周波数 $f_d$ の取りうる値全てについて、

$$(f_2 - f_1) / 2 > f_d$$

を満足するように設定しておく。このとき、符号+（シフト周波数 $f_1$ ）に対応する送信光に関するミキサ81からの出力信号の周波数は、

$$|f_1 + f_d - (f_1 + f_2) / 2| = (f_2 - f_1) / 2 - f_d$$

となり、符号-（シフト周波数 $f_2$ ）に対応する送信光に関する前記ミキサからの出力信号の周波数は、

$$|f_2 + f_d - (f_1 + f_2) / 2| = (f_2 - f_1) / 2 + f_d$$

となる。

前記ミキサ81からの出力信号は、0°分配器10により2分された後、2つのミキサ82と83に送られる。発振器92からは周波数 $(f_2 - f_1) / 2$ の

発振信号が発振され、 $90^\circ$  分配器 11 に送られる。 $90^\circ$  分配器 11 の出力は、2つのミキサ 82 と 83 に送信され、 $0^\circ$  分配器 10 からの 2つの出力信号とミキシングされる。ミキサ 82 と 83 によるミキシングは、I Q 検波に対応し、2つのミキサ 82 と 83 からの信号は、例えばミキサ 82 からの出力信号を I 信号、ミキサ 83 からの出力信号を Q 信号とした I Q 信号と見なせる。このとき、符号+ (シフト周波数  $f_1$ ) に対応する送信光に関するミキサ 82 および 83 からの I Q 信号の周波数は、

$$(f_2 - f_1) / 2 - f_d - (f_2 - f_1) / 2 = -f_d$$

となり、符号- (シフト周波数  $f_2$ ) に対応する送信光に関する前記ミキサからの出力信号の周波数は、

$$(f_2 - f_1) / 2 + f_d - (f_2 - f_1) / 2 = +f_d$$

となる。ここで、周波数の+と-を識別できるのは、I Q 検波を行ったことにより生じた効果である。

以上のように、ミキサ 82 および 83 からの I Q 信号の周波数は、変調符号の+と-に対応して、 $-f_d$  および  $+f_d$  となる。2つのミキサ 82 および 83 からの I Q 信号は、A/D 変換器 12 に送られる。

A/D 変換器 12 は、ミキサ 82 および 83 からの I Q 信号を A/D 変換する。ここで、レーザードップラーレーダ装置 14 から距離  $d_1$  に存在する計測レンジ  $R_0$  までの光信号の往復時間を  $\tau_r$  とする。A/D 変換を開始するタイミングは、符号系列発生器 4 からのトリガ信号を受信してから、時間  $\tau_r$  だけ遅延したタイミングとする。A/D 変換をストップするタイミングは、A/D 変換を開始したタイミングから、光変調器 3 からの出力信号のパルス幅  $\tau_p$  だけ遅延した時間とする。A/D 変換する時間帯を、図 4 に模式的に示す。図 4 (a) は、光変調器 3 の出力信号の模式図、図 4 (b) は、A/D 変換器 12 の動作タイミングを示す模式図である。なお、光変調器 3 から計測レンジ  $R_0$  までの光信号の往復時間は、レーザードップラーレーダ装置 14 から計測レンジ  $R_0$  までの光信号の往復時間を  $\tau_r$  に、レーザードップラーレーダ装置 14 内における光信号の伝搬時間を足した値であるが、レーザードップラーレーダ装置 14 内における光信号の伝搬時間は、 $\tau_r$  の値と比較して無視出来る程度の小さな値であるので、図 4 に

においてもレーザードップラーレーダ装置 1 4 内における光信号の伝搬時間は考慮していない。

A/D変換された信号は、信号処理部 1 2 に逐次送られ、図には示さないが信号処理部 1 3 内のメモリに保存される。

以上に述べた動作は、符号系列発生器 4 において発生する符号が符号系列 1 の場合についてのものであった。符号系列発生器 4 において符号系列 2 を発生する場合についても、符号系列 1 を発生する場合と同じ動作を行う。A/D変換された信号は、信号処理部 1 2 に逐次送られ、信号処理部 1 3 内の図示しないメモリに保存される。

次に、信号処理部 1 3 の動作について説明する。まず、符号系列 1 と符号系列 2 の各々の符号を用いて送受信を行った各々の場合の A/D変換した信号について、符号系列の 1 ビットに対応する時間幅  $\tau$  毎に符号系列のビット数のゲートに分割する（処理 1）。ここでは、符号系列のビット数が 4 であるので、4 つのゲートに分割してこれらのゲートを  $g_1$ 、 $g_2$ 、 $g_3$ 、 $g_4$  とする。符号系列 1 と符号系列 2 の各々の符号を用いて送受信を行う場合において、A/D変換器 1 2 により A/D変換する時間帯の信号には、レンジ  $R_{-3}$ 、 $R_{-2}$ 、 $R_{-1}$ 、 $R_0$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  の 7 つのレンジからの信号成分が含まれる。

例えば、符号系列 1（+++-）を用いて送受信を行った場合において、ゲート  $g_1$  に含まれる信号には、

レンジ  $R_{-3}$  からの符号-に対応した信号成分と、  
レンジ  $R_{-2}$  からの符号+に対応した信号成分と、  
レンジ  $R_{-1}$  からの符号+に対応した信号成分と、  
レンジ  $R_0$  からの符号+に対応した信号成分

が含まれている。

また、符号系列 1（+++-）を用いて送受信を行った場合において、ゲート  $g_4$  に含まれる信号には、

レンジ  $R_0$  からの符号-に対応した信号成分と、  
レンジ  $R_1$  からの符号+に対応した信号成分と、  
レンジ  $R_2$  からの符号+に対応した信号成分と、

レンジ $R_3$ からの符号+に対応した信号成分が含まれている。

処理1を行った後の分割された各ゲートにおいて、前記7つのレンジからの信号成分が符号系列発生器4において発生した符号系列の+と-のいずれの符号に対応した信号であるかの一覧を示したものを図5に示す。図5(a)は、符号系列1に関するものであり、図5(b)は、符号系列2に関するものである。図5において、各ゲート中に関し対応する信号成分が含まれないレンジについては0を記入している。

次に、各分割されたゲート $g_1 \sim g_4$ に含まれる信号を、FFTもしくはDFTといったスペクトル解析手段を用いてスペクトル解析することからパワースペクトルが求められる(処理2)。このとき、符号+に対応したスペクトルは、 $-f_d$ に信号強度を持つ関数となり、符号-に対応したスペクトルは、 $+f_d$ に信号強度を持つ関数となる。図6は、符号+と-に対応したパワースペクトルを模式的に示した図であり、図6(a)は、符号+に対応したパワースペクトル、図6(b)は、符号-に対応したパワースペクトルである。図6においてはドップラー周波数 $f_d$ の値が正の値の場合について示されている。

図7は、符号系列1を用いて送受信を行った場合について $g_1 \sim g_4$ の各ゲートに対して処理2を行って求めたパワースペクトルを、各レンジからの成分に分割して模式的に示した図である。図7(a)はゲート $g_1$ 、図7(b)はゲート $g_2$ 、図7(c)はゲート $g_3$ 、図7(d)はゲート $g_4$ に関する図である。また、図8は、符号系列2を用いて送受信を行った場合について $g_1 \sim g_4$ の各ゲートに対して処理2を行ってパワースペクトルを、各レンジからの成分に分割して模式的に示した図である。図8(a)はゲート $g_1$ 、図8(b)はゲート $g_2$ 、図8(c)はゲート $g_3$ 、図8(d)はゲート $g_4$ に関する図である。図7および図8においては、各レンジにおけるドップラー周波数 $f_{d-3} \sim f_{d_3}$ が全て正の値の場合について示しているが、これらの値は必ずしも正の値である必要はない。また、図7においては、レンジ $R_{-3}$ からの信号成分のパワースペクトル信号強度を $P_{-3}$ で、レンジ $R_{-2}$ からの信号成分のパワースペクトル信号強度を $P_{-2}$ で、レンジ $R_{-1}$ からの信号成分のパワースペクトル信号強度を $P_{-1}$ で、レンジ $R_{-0}$ からの信号成分



のパワースペクトル信号強度を $P_0$ で、レンジ $R_1$ からの信号成分のパワースペクトル信号強度を $P_1$ で、レンジ $R_2$ からの信号成分のパワースペクトル信号強度を $P_2$ で、レンジ $R_3$ からの信号成分のパワースペクトル信号強度を $P_3$ で、それぞれ表している。

次に、各ゲートのスペクトルに対し、送信時に用いた符号系列に対応した処理が行われる（処理3）。処理3は、この発明の実施の形態1において具体的には次のように行われる。符号系列1に関する信号については4つのゲート $g_1$ 、 $g_2$ 、 $g_3$ 、 $g_4$ のパワースペクトルに対し符号＋、＋、＋、－に対応した処理が行われ、符号系列2に関する信号については4つのゲート $g_1$ 、 $g_2$ 、 $g_3$ 、 $g_4$ のスペクトルに対し符号＋、＋、－、＋に対応した処理が行われる。この処理において、＋の符号に対応するゲートについては、パワースペクトルはそのままとし、－の符号に対応するゲートについては、周波数0を対称にパワースペクトルを反転する。図7および図8に示した符号系列1および符号系列2を用いた場合の各ゲートのパワースペクトルに対し、処理3を行った結果を図9および図10に示す。

次に、処理3が施された各ゲートのパワースペクトルをゲート間および符号系列間にわたって積算する（処理4）。図9および図10の処理3を施されたパワースペクトルに対し、処理4の積算を行った結果を図11に示す。図11では、積算結果を各レンジからの成分毎に分割して示している。

次に、処理4の結果における負の周波数領域の信号強度に－1を乗じ、絶対値が等しい正の周波数の信号強度に前記－1を乗じた信号強度を足し合わせる、つまり、周波数0を境に負の周波数領域を正の周波数領域に折り返して信号強度を足し合わせる（処理5）。この処理5を図11に示したスペクトルに対して行い、正の周波数領域のみに着目して表示した結果を図12に示す。

図12から、計測レンジ $R_0$ からの成分、つまり、ドップラー周波数 $f_{d0}$ のパワースペクトルの成分のみが残り、他のレンジに関するパワースペクトルは捕殺されることが分かる。これにより、計測レンジ $R_0$ におけるドップラー周波数 $f_{d0}$ の検出、つまり、計測レンジ $R_0$ における風速の検出を行うことができる。

以上に述べた信号処理部13の動作において、計測レンジ $R_0$ 以外のレンジか

らの信号成分を相殺して0にすることができるのは、相補系列が持つ、2つの系列の自己相関関数の和において、レンジサイドローブが相殺されて0になるという性質によるものである。

なお、図12においては、足しあわされた信号強度が負の値となっている。信号強度が負の値となることはアナログ領域ではありえない。しかし、デジタル領域において処理5の演算を行うことで演算結果としては負の値となりうる。

また、処理5の結果において着目するのは正の周波数領域のみであり、負の周波数領域を見ることはない。しかし、計測レンジ $R_0$ におけるドップラー周波数 $f d_0$ が正の値であれば、図12に示したように処理5による信号強度の計算結果が負の値となり、 $f d_0$ が負の値であれば、処理5による信号強度の計算結果は正の値となる。したがって、処理5の結果において、信号強度の絶対値がピークとなるピーク周波数と、ピーク周波数における信号強度の正負の値とから、計測レンジ $R_0$ におけるドップラー周波数 $f d_0$ の絶対値だけでなく、ドップラー周波数 $f d_0$ が正負いずれの値であるのかも検出することができる。

以上述べたように、この発明の実施の形態1に係るレーザードップラーレーダ装置によれば、反射体が大気中のエアロゾルのようないわゆるソフトターゲットであり、計測レンジだけでなく、計測レンジ以外の他のレンジからの信号が重畳して受信される場合であっても、他のレンジからの信号成分をキャンセルし、計測レンジからの信号成分に関するドップラー周波数の検出を行うことができる。つまり、反射体が大気中のエアロゾルである場合には、風速の検出を行うことができる。

さらに、この発明の実施の形態1においては、信号処理部12の動作中、処理4および処理5において、「符号系列のビット数(=4)」×「符号系列数(=2)」=8回の積算処理を行っている。このことは、処理5の結果である図12において、信号強度の絶対値が $8P_0$ であることから分かる。つまり、この発明は、送信光のピーク強度に対して8倍のピーク強度を持つ送信光を等価的に送信する効果、別の言い方をすると、パルス圧縮効果を有していることが分かる。したがって、同じピーク強度で1ビットの単一周波数パルスを送受する場合と比較して高いS/N比を得ることができる。

この発明の実施の形態 1 においては、ビット数 4 で符号系列数 2 の相補系列を用いた場合について説明を行ったが、ビット数をさらに大きくすれば処理 4 における積算による S/N 比改善効果がさらに向上する。

また、この発明の実施の形態 1 においては、変調方式として FSK (Frequency Shift Keying) を用いている。この発明では、大気中からの受信光の位相がランダムに揺らぐ場合においても、ドップラー周波数と各レンジにおける反射率が計測時間において一定であれば所望の効果を實現できる。何故なら、信号処理部 13 の動作中処理 2 において位相情報を除去したパワースペクトルを求めてこの関数をその後の処理（処理 3～処理 5）に用いており、大気中からの受信光の位相がランダムに揺らぎ、処理 1 において分割して得た各ゲートの信号の位相がゲート間でランダムに変動する場合においても、その後の処理には関係ないからである。

この発明の実施の形態 1 においては、符号系列として相補系列を用いたが、文献 [1] に示されている「鋭い相関関数を持つ系列」における他の系列、例えば、 $n$  を整数として、 $2^n - 1$  ビットの M 系列を用いてもよい。M 系列の自己相関関数においては、レンジサイドローブの高さが 0 とはならないが、メインローブの高さと比較して  $1/n$  の値まで低減される。したがって、符号系列として  $n$  の値を大きくした M 系列を用い、符号系列発生器 4 から A/D 変換器 12 へのトリガ信号の送信タイミングを符号系列発生器 4 の動作開始時、つまり、符号系列発生器 4 から光変調器 3 に対する送信開始時とし、A/D 変換器における A/D 変換開始時をトリガ信号が入力されてから計測レンジ  $R_0$  までの往復時間  $\tau_r$  だけ遅延した時間とし、A/D 変換ストップ時を計測終了時とし、信号処理部 13 において同様の処理を行えば、処理結果においては計測レンジ  $R_0$  からの信号が支配的となる。この場合、無限に繰り返す M 系列にしたがって変調された連続波的な送信光を送信するので、光変調器 3 がパルス変調機能を有する必要がなくなるといふ効果が生じる。

## 実施の形態 2.

この発明の実施の形態 2 に係るレーザードップラーレーダ装置について図 13

から図 1 4 を用いて説明する。図 1 3 は、この発明の実施の形態 2 に係るレーザードップラーレーダ装置の構成図である。図 1 3 においては、図 1 におけるミキサ 8 2 および 8 3 と、発振器 9 2 と、 $0^\circ$  分配器 1 0 と、 $90^\circ$  分配器 1 1 とが除去され、単一のミキサ 8 と発振器 9 を用い、ミキサ 8 が A/D 変換器 1 2 に直接接続され、ミキサ 8 の出力信号が A/D 変換される構成となっている。

この発明の実施の形態 1 においては、符号+（シフト周波数  $f_1$ ）に対応する送信光に関するミキサ 8 からの出力信号の周波数は、

$$|f_1 + f_d - (f_1 + f_2) / 2| = (f_2 - f_1) / 2 - f_d$$

となり、符号-（シフト周波数  $f_2$ ）に対応する送信光に関する前記ミキサ 8 からの出力信号の周波数は、

$$|f_2 + f_d - (f_1 + f_2) / 2| = (f_2 - f_1) / 2 + f_d$$

となっていた。そして、これらの周波数から  $(f_2 - f_1) / 2$  の値をアナログ段階で差し引くために、図 1 に示す実施の形態 1 では、ミキサ 8 2 および 8 3 によるミキシングを行っていたが、この実施の形態 2 に係るレーザードップラーレーダ装置は、この  $(f_2 - f_1) / 2$  の値を差し引くという動作を、アナログ段階でなく、信号処理部 1 3 における動作として行うものである。この信号処理部 1 3 の動作について次に説明する。

信号処理部 1 3 においては、まず、実施の形態 1 と同様の処理 1 が行われる。次に、実施の形態 1 に示したのと同様の処理 2 が行われる。次に、処理 2 により求めたパワースペクトルの周波数軸の値から  $(f_2 - f_1) / 2$  の値を差し引く（処理 2 d）。この処理 2 d を行う前後のパワースペクトルの模式図を図 1 4 に示す。図 1 4 (a) は符号+に対応した模式図であり、図 1 4 (b) は符号-に対応した模式図である。

この処理 2 d を行うことにより、実施の形態 1 で行った、ミキサ 8 2 および 8 3 によるミキシングと等価な処理を行ったこととなる。したがって、この処理 2 d を行った段階における、符号+と-に対応したパワースペクトルを模式的に示した図は図 6 と同じとなり、符号系列 1 を用いて送受信を行った場合について  $g_1 \sim g_4$  の各ゲートに対して処理 2 を行って求めたパワースペクトルを、各レンジからの成分に分割して模式的に示した図は図 7 と同じとなる。したがって、この

処理 2 d を行った後に処理 3 ～処理 5 を行うことにより、実施の形態 1 に示したのと同じ効果を得ることができる。

実施の形態 2 に示したレーザードップラーレーダ装置は、実施の形態 1 に示したレーザードップラーレーダ装置と比較して、ミキサ 8 2 および 8 3 と、発振器 9 2 と、 $0^\circ$  分配器 1 0 と、 $90^\circ$  分配器 1 1 とを用いる必要がないので、構成部品が少なく、システム全体を廉価にするという効果が生じる。

### 実施の形態 3.

この発明の実施の形態 3 に係るレーザードップラーレーダ装置について図 1 5 から図 1 7 を用いて説明する。図 1 5 は、この発明の実施の形態 3 に係るレーザードップラーレーダ装置の構成図である。図 1 5 においては、図 1 3 におけるミキサ 8 と、発振器 9 とが除去され、ヘテロダインレシーバ 7 が A/D 変換器 1 2 に直接接続され、ヘテロダインレシーバ 7 からのビート信号が A/D 変換される構成となっている。

この発明の実施の形態 1 および実施の形態 2 においては、符号 + に対応する送信光に関するビート信号の周波数は  $f_d + f_1$  となり、符号 - に対応する送信光に関するビート信号の周波数は  $f_d + f_2$  となっていた。そして、これらの周波数から  $f_1$  および  $f_2$  の値をアナログ段階で差し引くために、ミキサ 8 1、8 2 および 8 3 によるミキシングを行っていたが、この実施の形態 3 に係るレーザードップラーレーダ装置では、この  $f_1$  および  $f_2$  の値を差し引くという動作を、アナログ段階でなく、信号処理部 1 3 における動作として行うものである。この信号処理部 1 3 の動作について次に説明する。

信号処理部 1 3 においては、まず、実施の形態 1 と同様の処理 1 が行われる。次に、実施の形態 1 に示したのと同様の処理 2 が行われる。次に、処理 2 により求めたパワースペクトルの周波数軸の値から  $(f_2 + f_1) / 2$  の値を差し引く (処理 2 d d)。この処理 2 d d を行う前後のパワースペクトルの模式図を図 1 6 に示す。図 1 6 (a) は符号 + に対応した模式図であり、図 1 6 (b) は符号 - に対応した模式図である。次に、処理 2 d d の処理結果において、正の周波数領域については周波数に関しては  $-(f_2 - f_1) / 2$  だけシフトさせる。また

、負の周波数領域については周波数に関して  $(f_2 - f_1) / 2$  だけシフトさせ、さらに周波数に関する符号を反転する (処理 2 d d d)。この処理 2 d d d を行う前後のパワースペクトルの模式図を図 1 7 に示す。図 1 7 (a) は符号 + に対応した模式図であり、図 1 7 (b) は符号 - に対応した模式図である。この処理 2 d d および処理 2 d d d を行うことにより、実施の形態 1 で行った、ミキサ 8 1、8 2 および 8 3 によるミキシングと等価な処理を行ったこととなる。したがって、この処理 2 d d d を行った段階における、符号 + と - に対応したパワースペクトルを模式的に示した図は図 6 と同じとなり、符号系列 1 を用いて送受信を行った場合について  $g_1 \sim g_4$  の各ゲートに対して処理 2 を行って求めたパワースペクトルを、各レンジからの成分に分割して模式的に示した図は図 7 と同じとなる。したがって、この処理 2 d を行った後に処理 3 ~ 処理 5 を行うことにより、実施の形態 1 に示したのと同じ効果を得ることができる。

実施の形態 3 に示したレーザードップラーレーダ装置は、実施の形態 1 に示したレーザードップラーレーダ装置と比較して、ミキサ 8 1、8 2 および 8 3 と、発振器 9 1 および 9 2 と、 $0^\circ$  分配器 1 0 と、 $90^\circ$  分配器 1 1 とを用いる必要がないので、構成部品が少ない。また、実施の形態 2 に示したレーザードップラーレーダ装置と比較して、ミキサ 8 1 と、発振器 9 1 を用いる必要がないので、構成部品が少ない。したがって、システム全体を廉価にするという効果が生じる。

#### 実施の形態 4.

この発明の実施の形態 4 に係るレーザードップラーレーダ装置について図 1 8 から図 2 0 を用いて説明する。図 1 8 は、この発明の実施の形態 4 に係るレーザードップラーレーダ装置の構成図である。図 1 8 においては、2 つの光源が示されており、それぞれ光源 1 a、1 b として示されている。また、3 つの光分配器が示されており、それぞれ光分配器 2 1、2 2、2 3 として示されている。なお、図 1 に示す実施の形態 1 と同一部分は同一符号を付してその説明は省略する。さらに、新たな符号として、1 5 は光周波数管理器、1 6 は光スイッチである。

図 1 8 において、光源 1 a は光分配器 2 1 に接続されており、光源 1 b は光分

配器 2 2 に接続されている。光分配器 2 1 の 2 つの出力の内の一方は光周波数管理器 1 5 に接続されており、他の一方は光スイッチ 1 6 に接続されている。光分配器 2 2 の 2 つの出力の内の一方は光周波数管理器 1 5 に接続されており、他の一方は光分配器 2 3 に接続されている。光分配器 2 3 の 2 つの出力の内の一方は光スイッチ 1 6 に接続されており、他の一方はヘテロダインレシーバ 7 に接続されている。光周波数管理器 1 5 の出力は光源 1 a に接続されている。光スイッチ 1 6 は光増幅器 5 と符号系列発生器 4 とに接続されている。

図 1 8 において、光源 1 a は、連続波で周波数  $f_2$  の光信号を発生する。光源 1 b は連続波で周波数  $f_0$  の光信号を発生する。

符号系列発生器 4 は、符号系列に基づいた変調信号を発生して光スイッチ 1 6 に送信する。また、変調信号の送信タイミングを知らせるトリガ信号を A/D 変換器 1 2 に送信する。

光スイッチ 1 6 は、符号系列発生器 4 からの変調信号に基づいて 2 つの光信号の一方を選択して出力する。したがって、光変調器 3 の出力信号の周波数は FSK (Frequency Shift Keying) され、符号系列の + と - に対応して、 $f_0$  と  $f_2$  となる。

光周波数管理器 1 5 は、2 つの光源 1 a および 1 b からの光信号の周波数差を管理し、周波数差が一定値 ( $f_2 - f_0$ ) を保持するよう、光源 1 a に対し制御をかける。これにより、光源 1 a から発生する光信号の周波数が不安定で時間的に変動する場合においても、この変動を自動補償できるという効果が生じる。

光源 1 b からの光信号の一部 (光分配器 2 3 からの 2 つの出力の一方) は、ローカル光としてヘテロダインレシーバ 7 に送られる。

以上の動作により、周波数  $f_0$  と  $f_2$  で FSK された送信光および周波数  $f_0$  のローカル光が生成された。

実施の形態 4 における以後の動作については、実施の形態 1 における、 $f_1 = 0$  とした場合の動作と同じ動作を行う。これにより、実施の形態 1 で得られたのと同じ効果を得ることができる。

周波数  $f_0$  と  $f_2$  で FSK された送信光および周波数  $f_0$  のローカル光を生成することができれば、装置構成を図 1 9 および図 2 0 とし、以後の動作を実施の

形態 2 および実施の形態 3 と同じにすることによって、実施の形態 2 および実施の形態 3 で得られたのと同じ効果を得ることができる。

#### 産業上の利用の可能性

以上のように、この発明によれば、F S K (Frequency Shift Keying) 方式を用いて受信光の位相揺らぎがある場合においてもパルス圧縮効果による高い S / N 比での計測を可能とし、且つ、受信光に複数のレンジからの信号成分が重畳する場合においても所望の計測レンジからの成分を抽出して計測レンジにおける風速の検出を行うことができる。



## 請 求 の 範 囲

## 1. 光源と、

＋もしくは一の符号からなる符号系列に基づいた変調信号を発生する符号系列発生器と、

前記光源からの光信号を、前記符号系列発生器からの変調信号に基づいて2つの周波数によりFSK (Frequency Shift Keying) 変調する光変調器と、

前記光変調器によりFSK変調された光信号を大気中に送信すると共に、大気中からの複数のレンジからの受信光を受信する送受光学部と、

前記光源からの光信号を分配してローカル光を発生する光分配器と、

前記送受光学部からの受信光と前記光分配器からのローカル光とのヘテロダイン検波を行うことにより光信号を電気信号に変換するヘテロダインレシーバと、

前記ヘテロダインレシーバからの電気信号をA/D変換するA/D変換器と、

前記A/D変換器によりA/D変換した信号を信号処理する信号処理部とを備え、

前記信号処理部は、大気中における1つの計測レンジ以外の他のレンジからの信号成分をキャンセルし、計測レンジにおけるドップラー周波数の検出を行う機能を有する

ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

## 2. 請求項1に記載のレーザードップラーレーダ装置において、

前記光変調器は、変調信号の＋と－に対応して2つの周波数 $f_1$ と $f_2$ だけ前記光源からの光信号の周波数 $f_0$ に対して周波数シフトさせる

ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

## 3. 請求項1に記載のレーザードップラーレーダ装置において、

前記光源の数を2つとし、

前記光変調器は、前記符号系列発生器からの変調信号に基づいて2つの光源からの光信号の一方を選択して出力する光スイッチでなる

ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

4. 請求項1に記載のレーザードップラーレーダ装置において、  
前記符号系列は、M系列である  
ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

5. 請求項1に記載のレーザードップラーレーダ装置において、  
前記符号系列は、相補系列であり、  
前記光変調器は、パルス変調機能を有する  
ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

6. 請求項1ないし5のいずれか1項に記載のレーザードップラーレーダ装置において、

前記信号処理部は、

前記A/D変換機によりA/D変換した信号を符号系列の1ビットに対応する  
時間幅毎にゲート分割するゲート分割機能と、

前記ゲート分割機能により分割された各ゲートに含まれる信号のパワースペク  
トルを求めるスペクトル解析機能と、

前記スペクトル解析機能により求められた各ゲートのスペクトルに対し、送信  
時に用いた符号系列に対応した処理を行う処理機能と、

符号系列に対応した前記処理機能により処理が施された各ゲートの処理結果を  
ゲート間および符号系列間にわたって積算する積算機能と、

前記積算機能による積算結果における負の周波数領域の信号強度に-1を乗じ  
、絶対値が等しい正の周波数の信号強度に前記-1を乗じた信号強度を足し合わ  
せる機能と

を有し、

風速のドップラー周波数を $f_d$ とし、前記パワースペクトルにおいて、大気中  
からの信号成分の信号強度が存在する周波数を、符号系列の+と-に対応して周  
波数 $-f_d$ と周波数 $+f_d$ 、もしくは符号系列の+と-に対応して周波数 $+f_d$

と周波数 $-f_d$ とする

ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

7. 請求項6に記載のレーザードップラーレーダ装置において、  
周波数が $(f_1 + f_2) / 2$ の発振信号を出力する第1の発振器と、  
前記ヘテロダインレシーバからの出力信号と前記第1の発振器からの発振信号とをミキシングする第1のミキサと、  
前記第1のミキサの出力を2分配する $0^\circ$ 分配器と、  
周波数が $(f_1 - f_2) / 2$ の発振信号を出力する第2の発振器と、  
前記第2の発振器からの発振信号を2分配する $90^\circ$ 分配器と、  
前記 $0^\circ$ 分配器からの一方の出力と前記 $90^\circ$ 分配器からの一方の出力とをミキシングする第2のミキサと、  
前記 $0^\circ$ 分配器からの他方の出力と前記 $90^\circ$ 分配器からの他方の出力とをミキシングする第3のミキサと  
を備え、  
前記第2と第3のミキサの出力により、パワースペクトルにおいて、大気中からの信号成分の信号強度が存在する周波数を、符号系列の+と-に対応して周波数 $-f_d$ と周波数 $+f_d$ 、もしくは符号系列の+と-に対応して周波数 $+f_d$ と周波数 $-f_d$ とすることを實現する  
ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

8. 請求項6に記載のレーザードップラーレーダ装置において、  
周波数が $(f_1 + f_2) / 2$ の発振信号を出力する第1の発振器と、  
前記ヘテロダインレシーバからの出力信号と前記第1の発振器からの発振信号とをミキシングする第1のミキサと  
を備えると共に、  
前記信号処理部は、求められたパワースペクトルの周波数軸の値から $(f_2 - f_1) / 2$ の値を差し引く機能を有し、  
前記第1のミキサの出力と前記信号処理部により、パワースペクトルにおいて

、大気中からの信号成分の信号強度が存在する周波数を、符号系列の+と-に対応して周波数 $-f_d$ と周波数 $+f_d$ 、もしくは符号系列の+と-に対応して周波数 $+f_d$ と周波数 $-f_d$ とすることを實現する

ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

9. 請求項6に記載のレーザードップラーレーダ装置において、

前記信号処理部は、

前記パワースペクトルの周波数軸の値から  $(f_2 + f_1) / 2$  の値を差し引く機能と、

正の周波数領域について周波数に関して  $-(f_2 - f_1) / 2$  だけシフトさせる機能と、

負の周波数領域について周波数に関して  $(f_2 - f_1) / 2$  だけシフトさせ、さらに周波数に関する符号を反転する機能と

を有し、

パワースペクトルにおいて、大気中からの信号成分の信号強度が存在する周波数を、符号系列の+と-に対応して周波数 $-f_d$ と周波数 $+f_d$ 、もしくは符号系列の+と-に対応して周波数 $+f_d$ と周波数 $-f_d$ とすることを實現する

ことを特徴とするレーザードップラーレーダ装置。

図 1

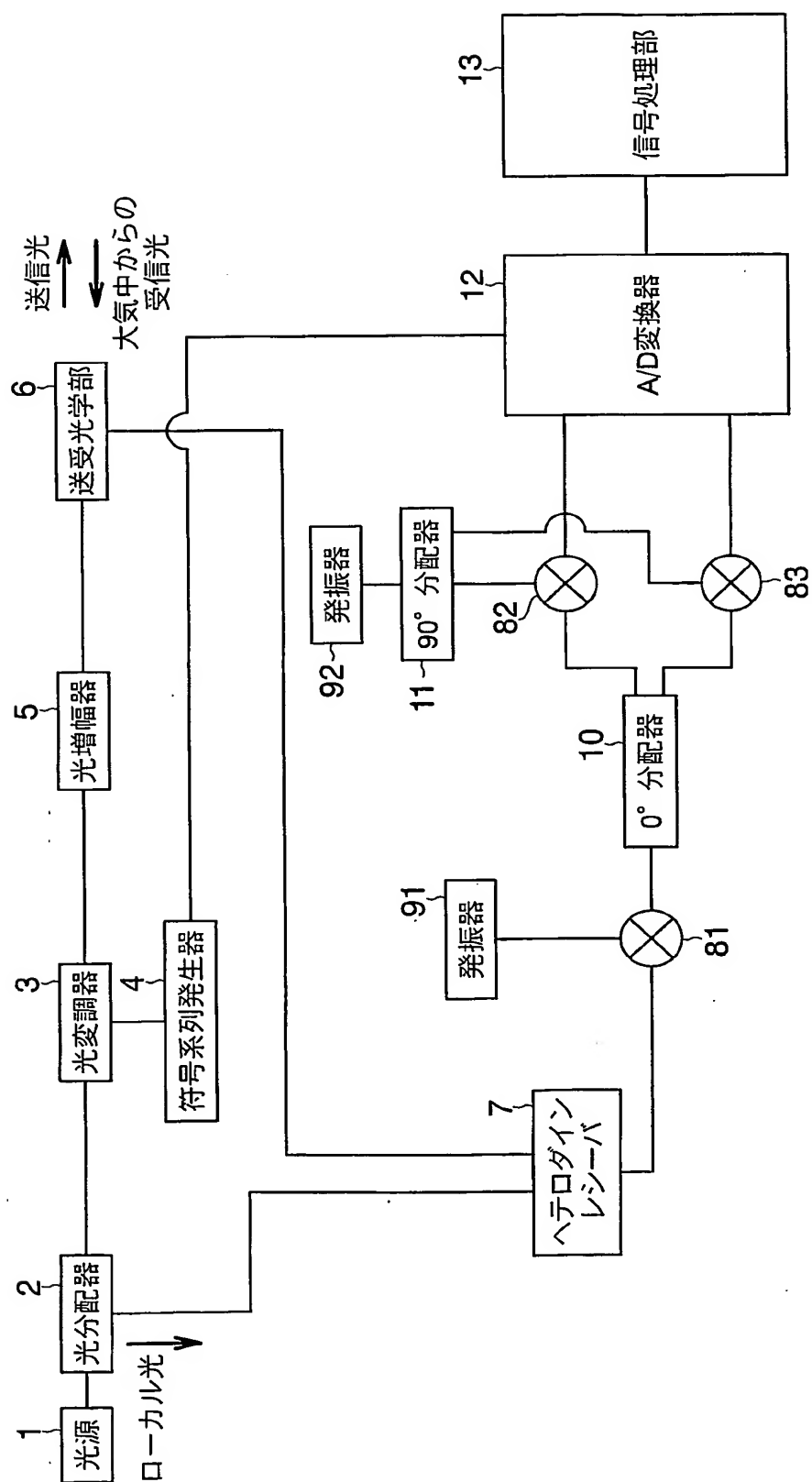


図 2

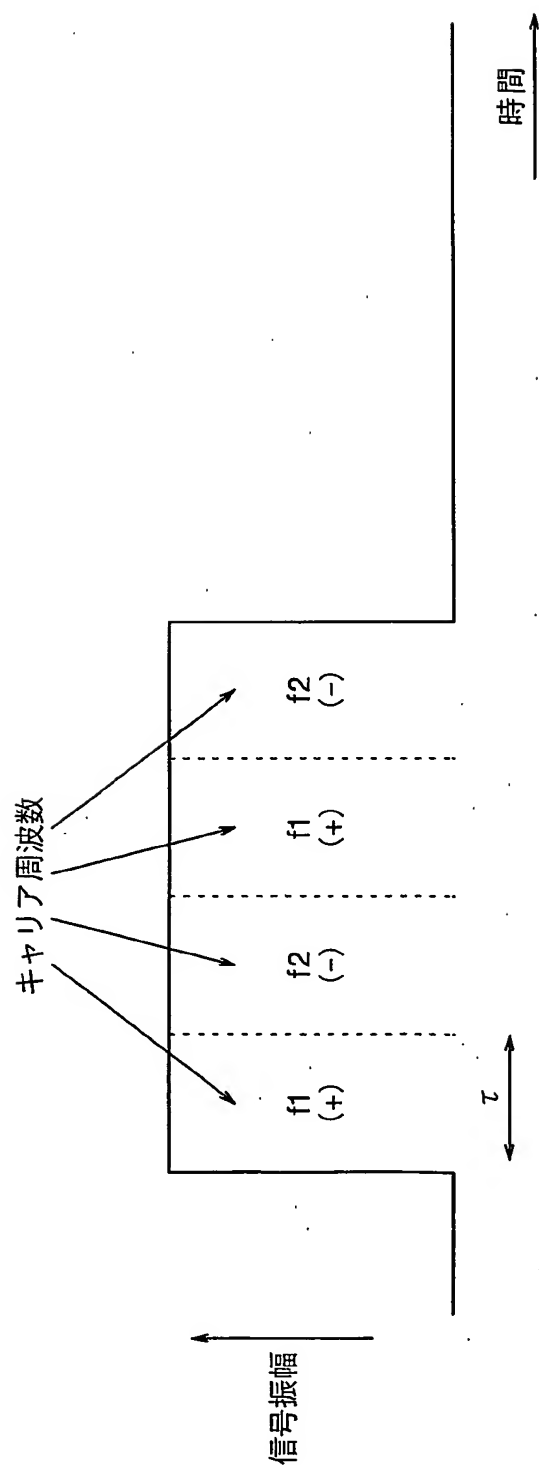


図 3

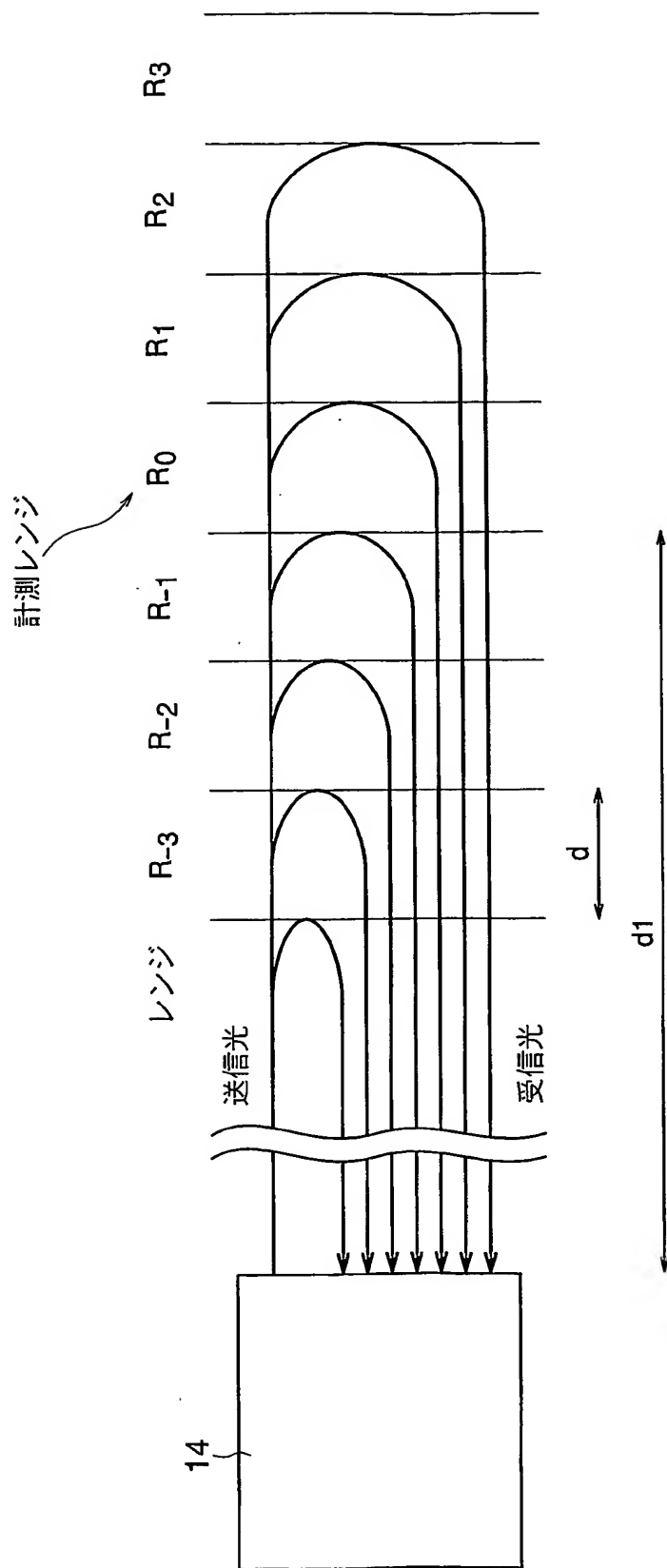
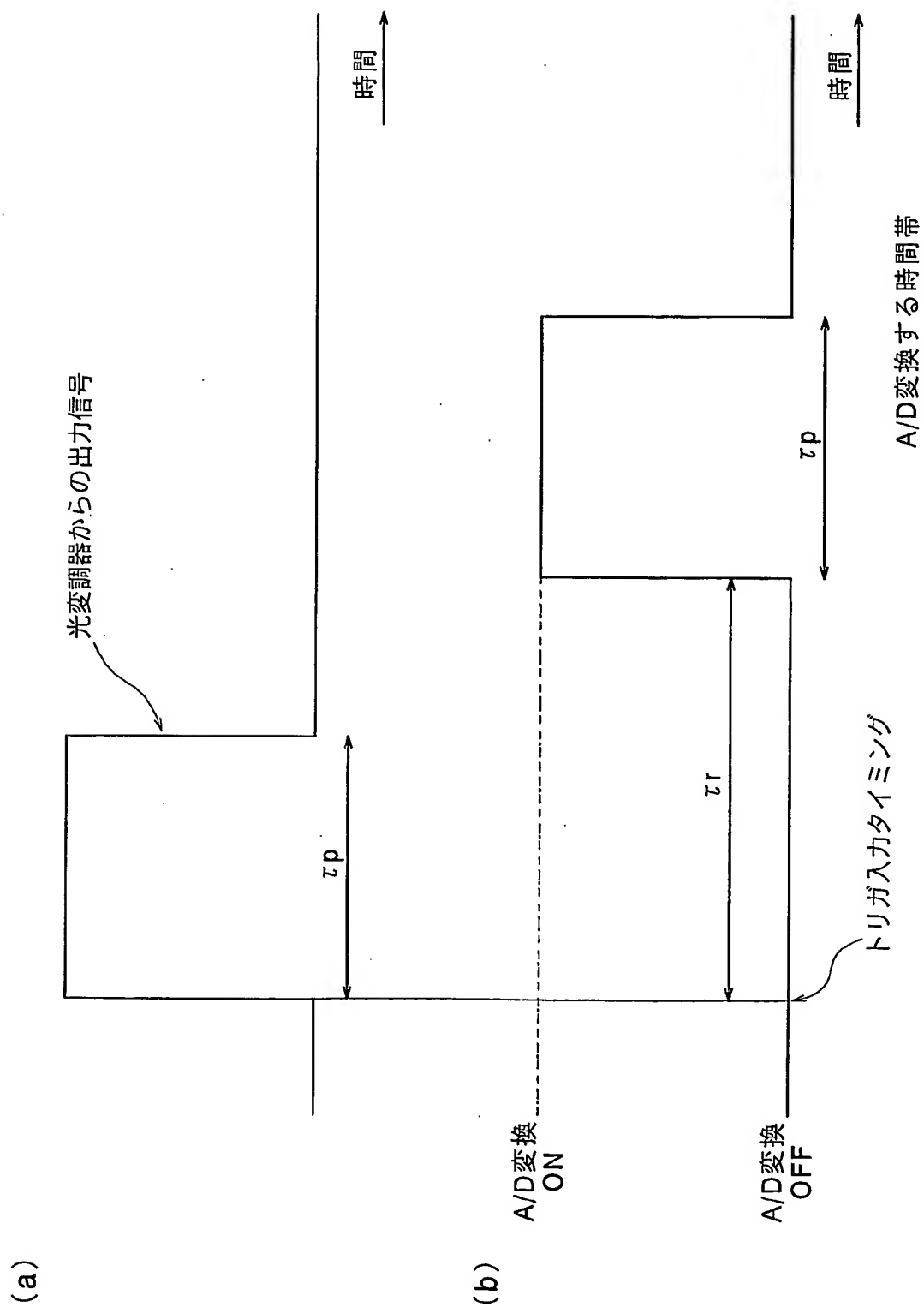


図 4





## 図 5

(a)

ゲート レンジ	91	92	93	94
R-3	-	0	0	0
R-2	+	-	0	0
R-1	+	+	-	0
R0	+	+	+	-
R1	0	+	+	+
R2	0	0	+	+
R3	0	0	0	+

(b)

ゲート レンジ	91	92	93	94
R-3	+	0	0	0
R-2	-	+	0	0
R-1	+	-	+	0
R0	+	+	-	+
R1	0	+	+	-
R2	0	0	+	+
R3	0	0	0	+

図 6

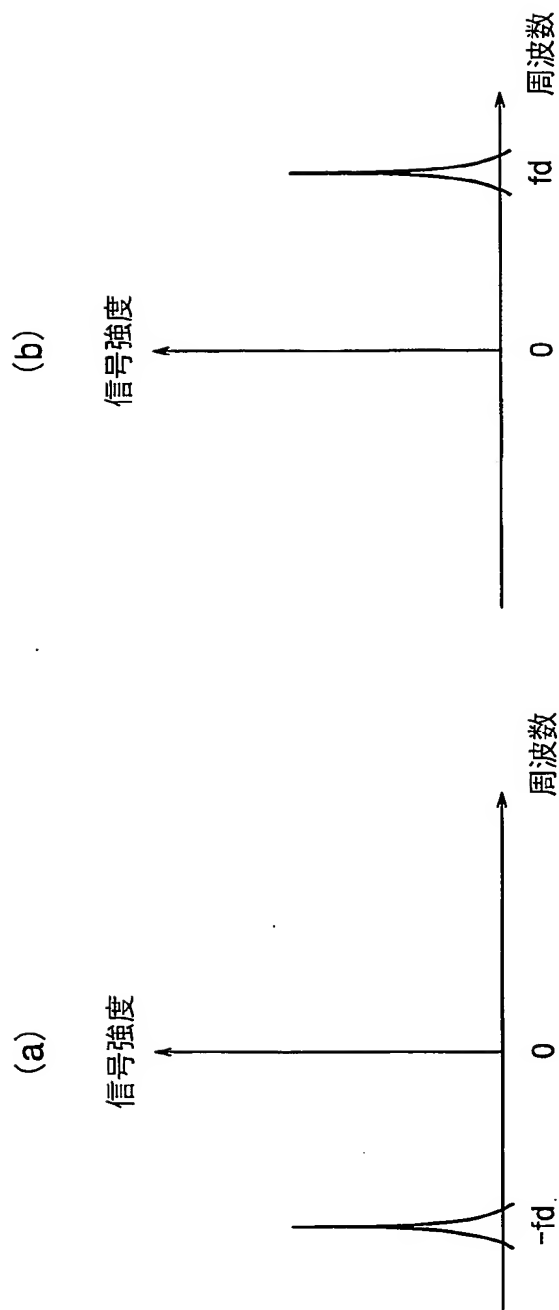


図 7

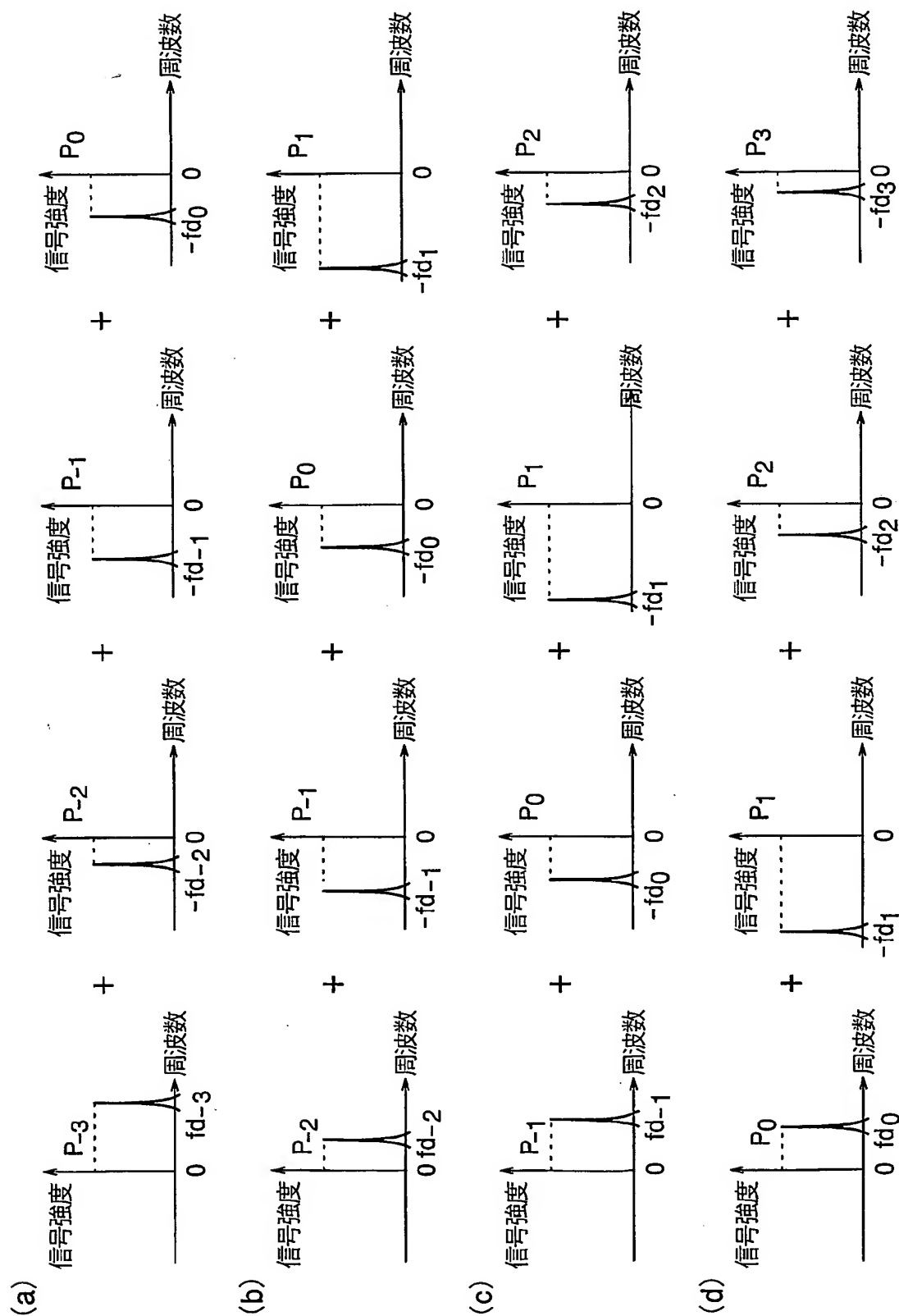


図 8

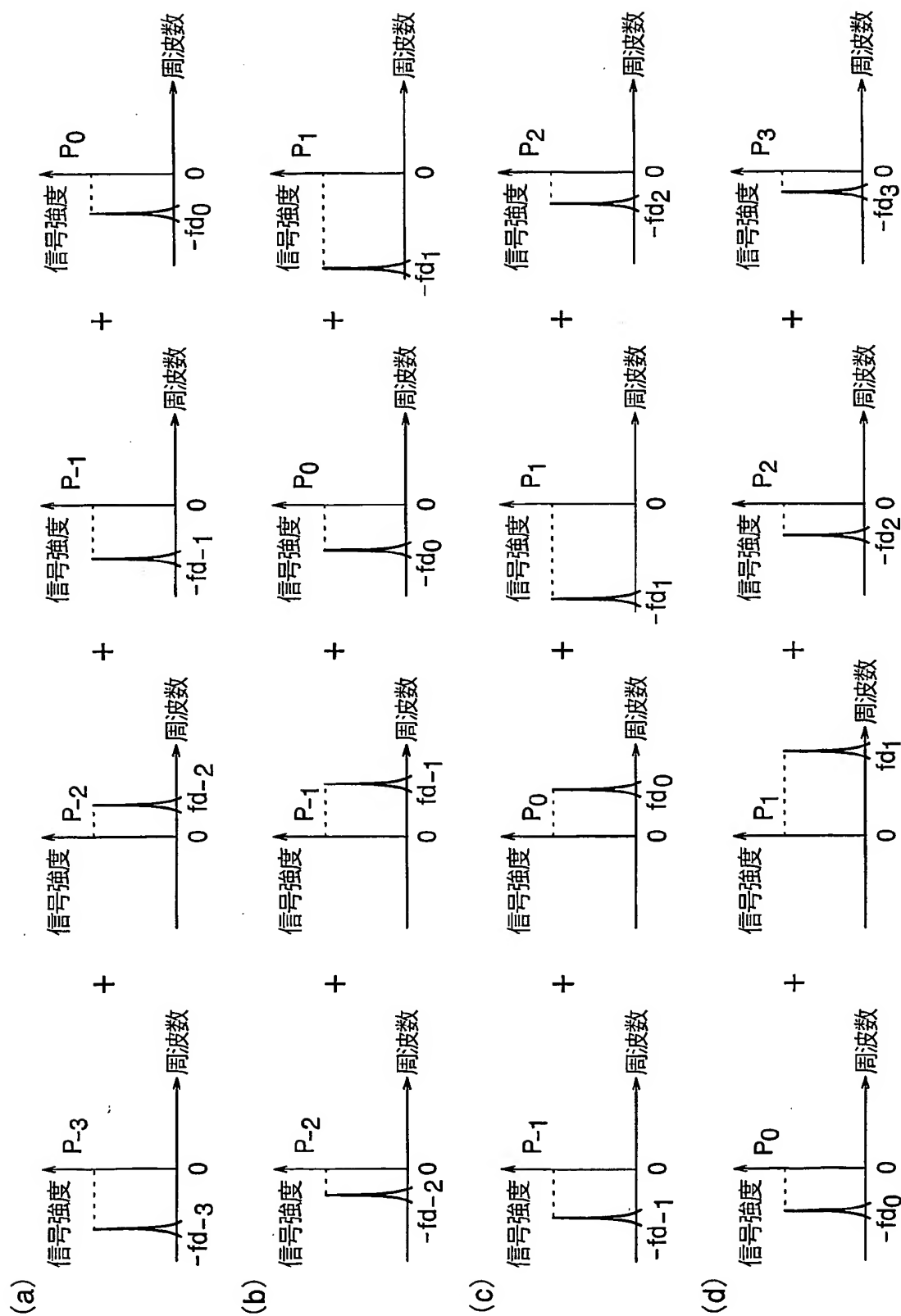


図 9

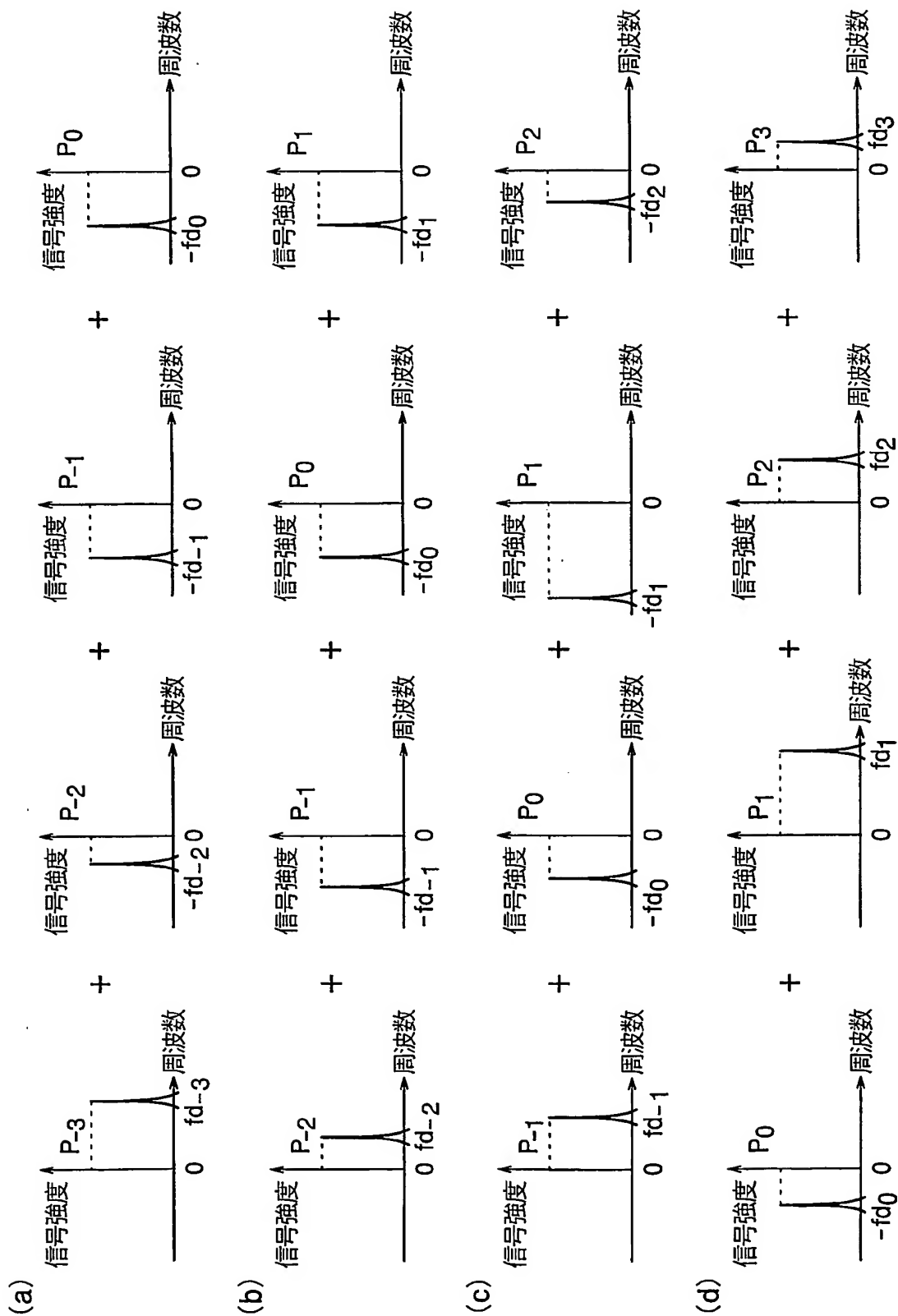


図 10

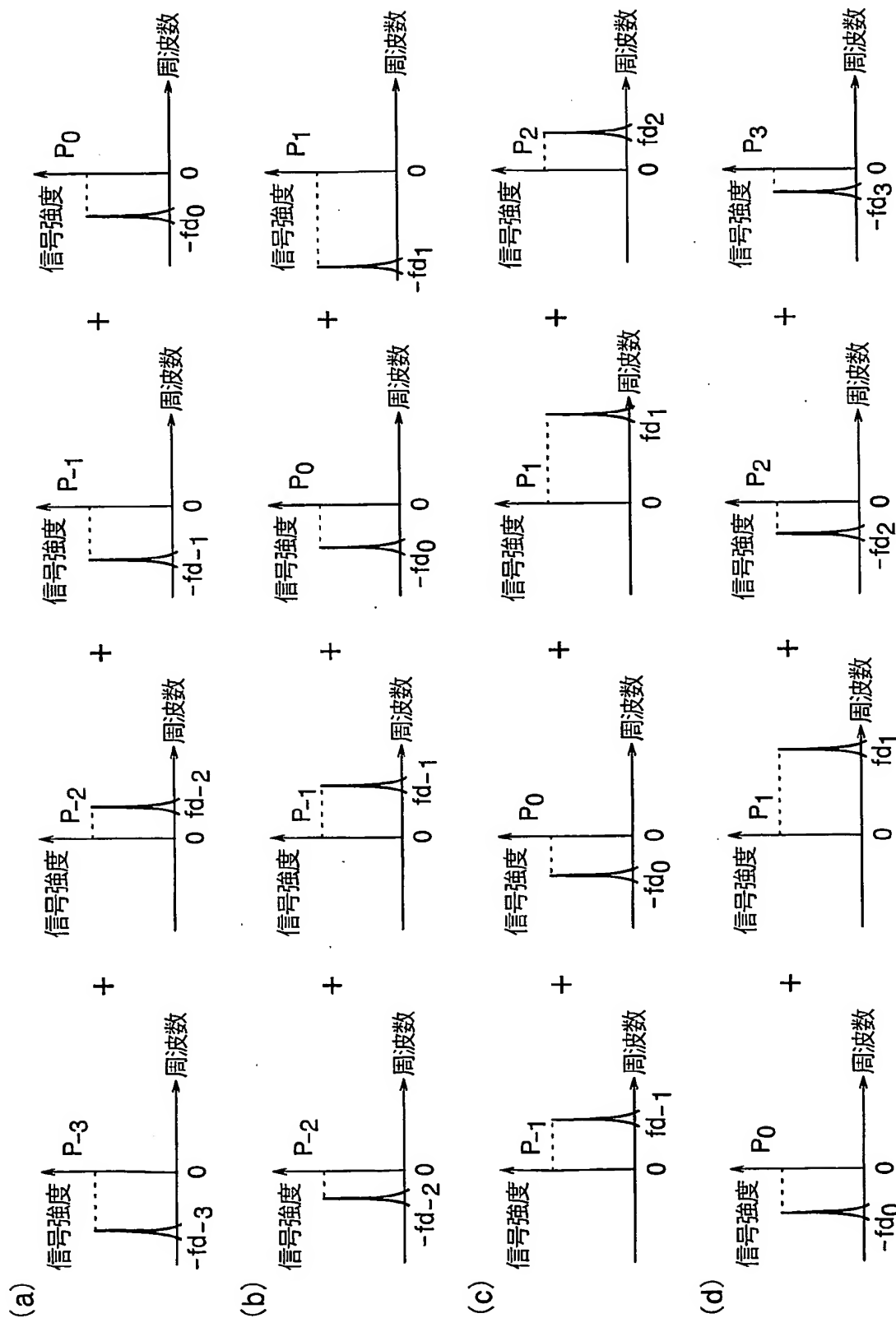


図 11

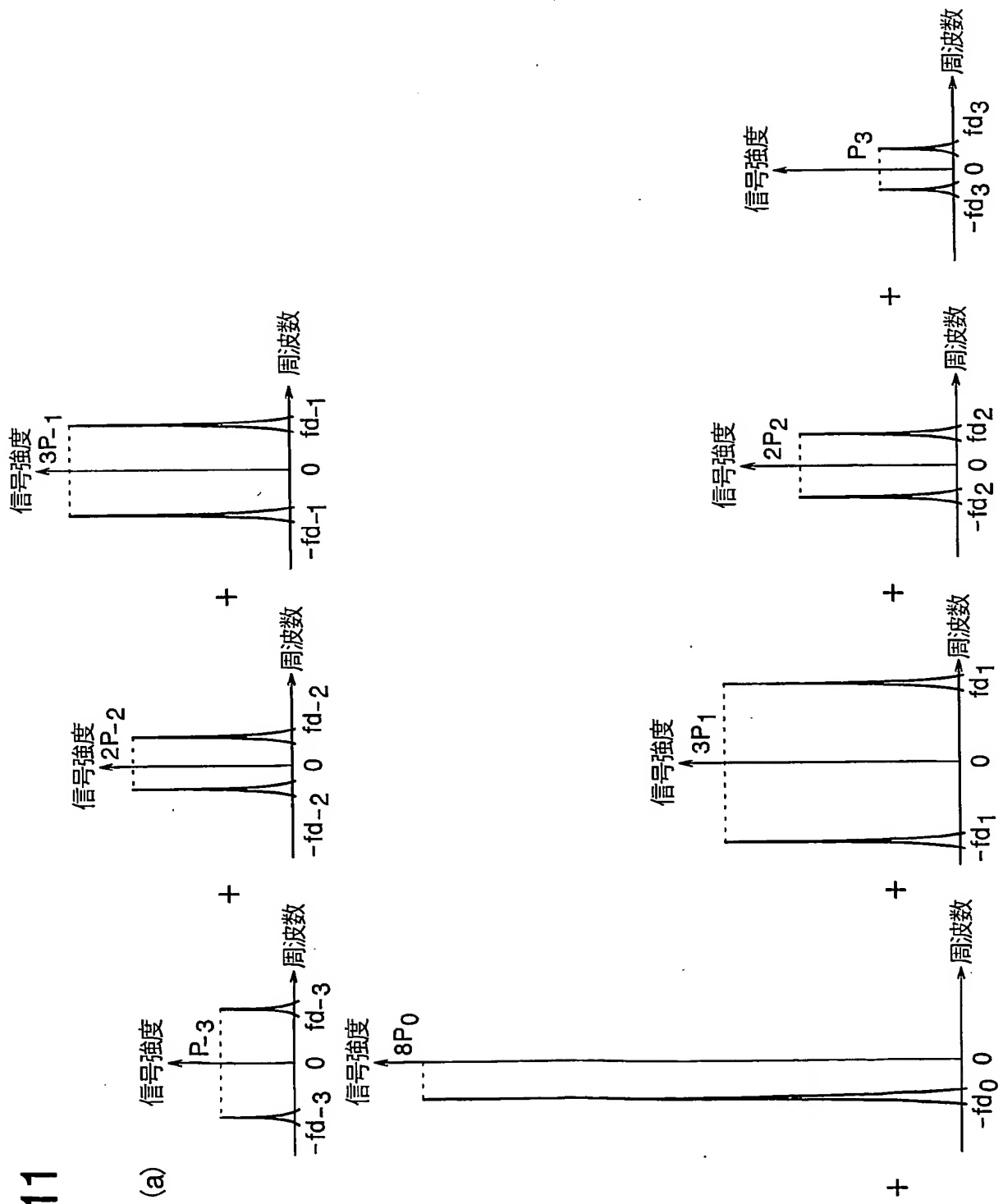


図 12

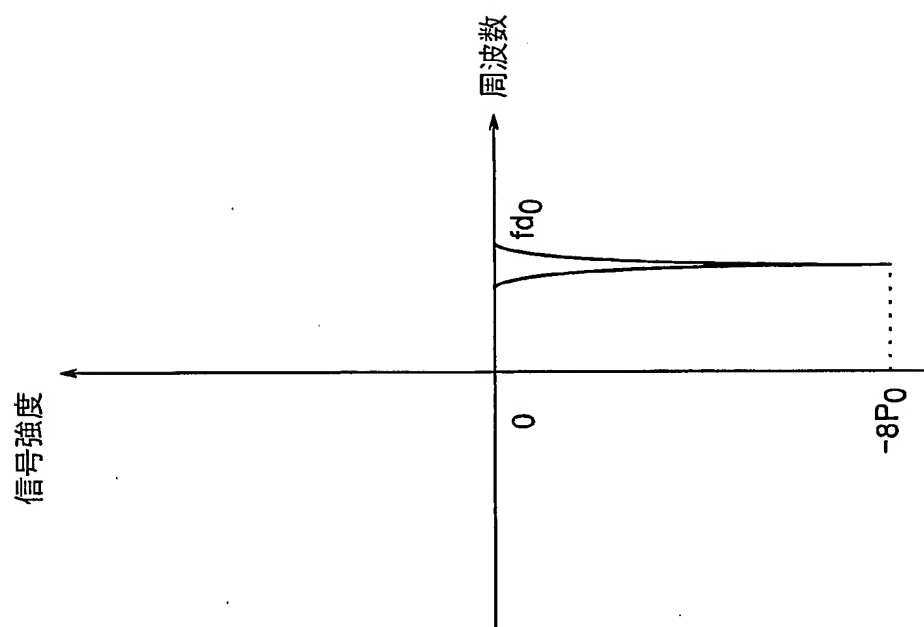




図 13

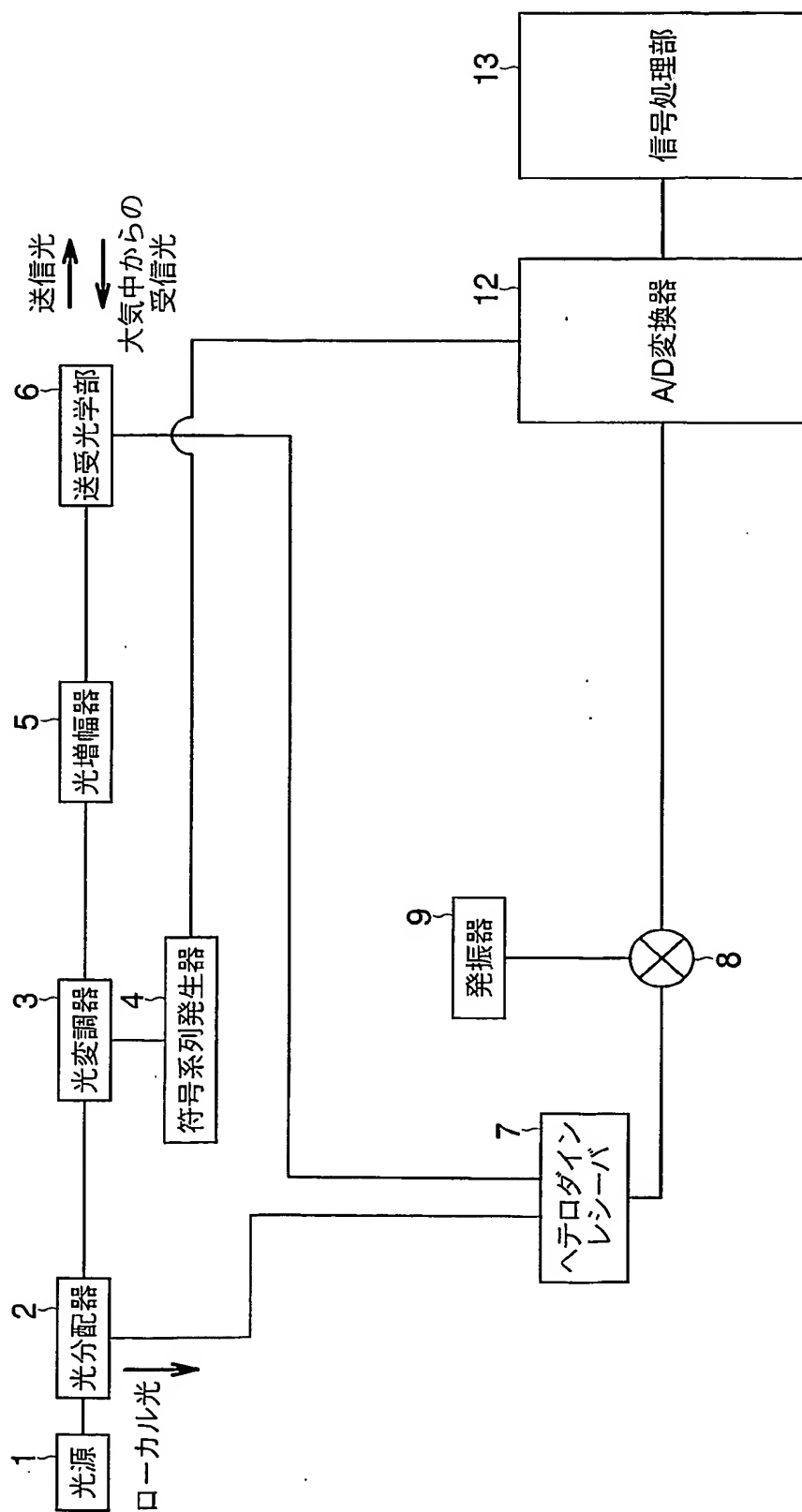


図 14

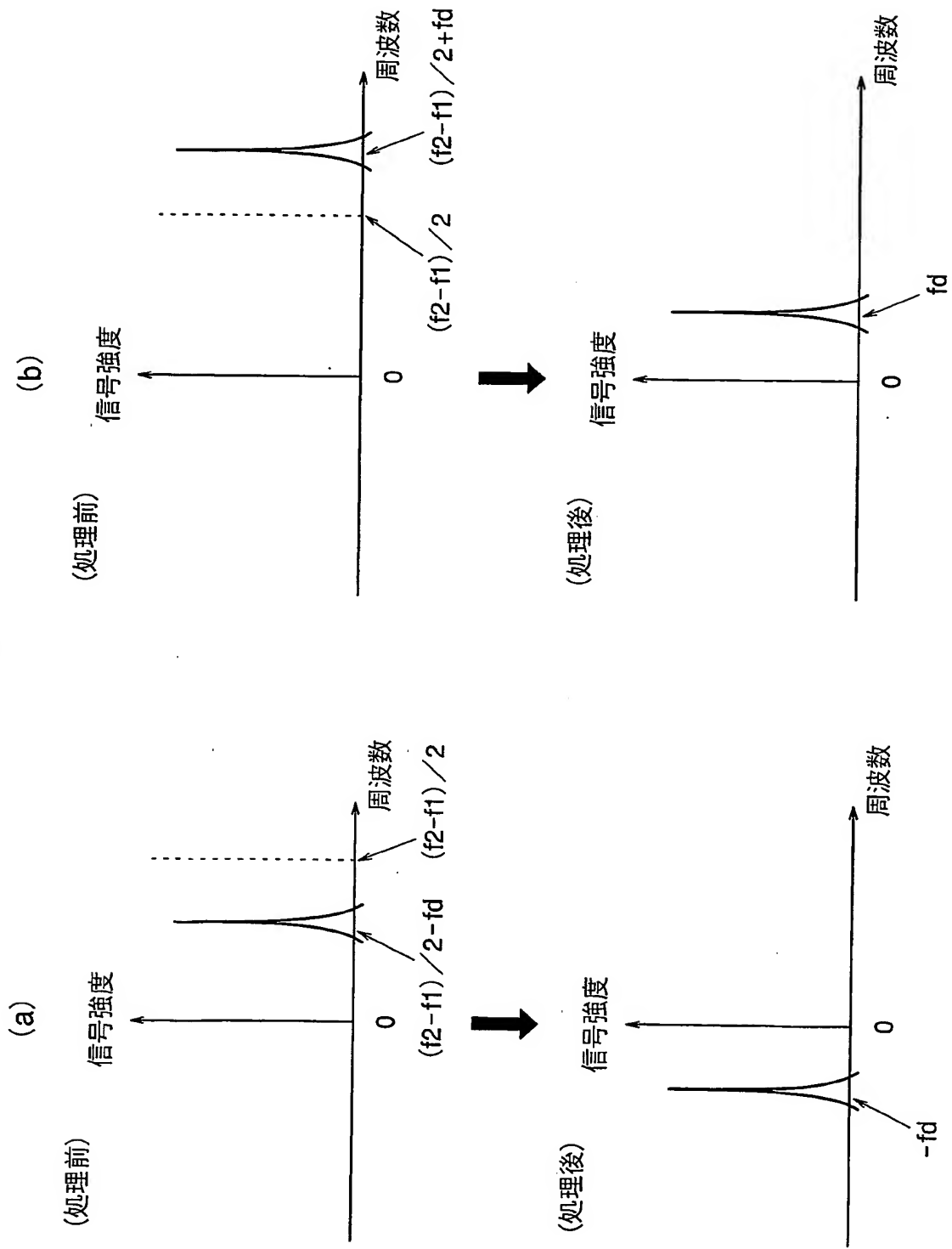


図 15

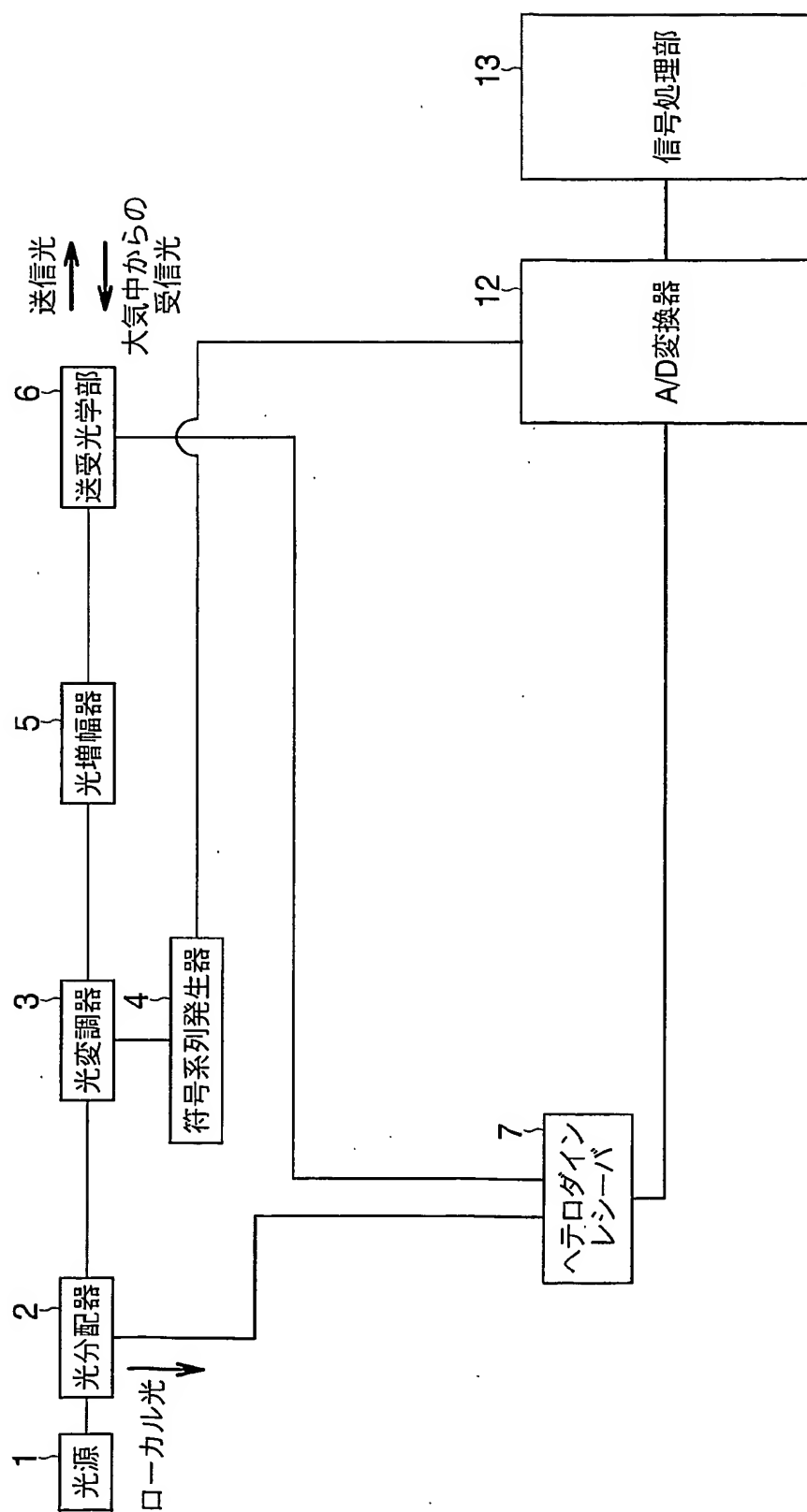


图 16

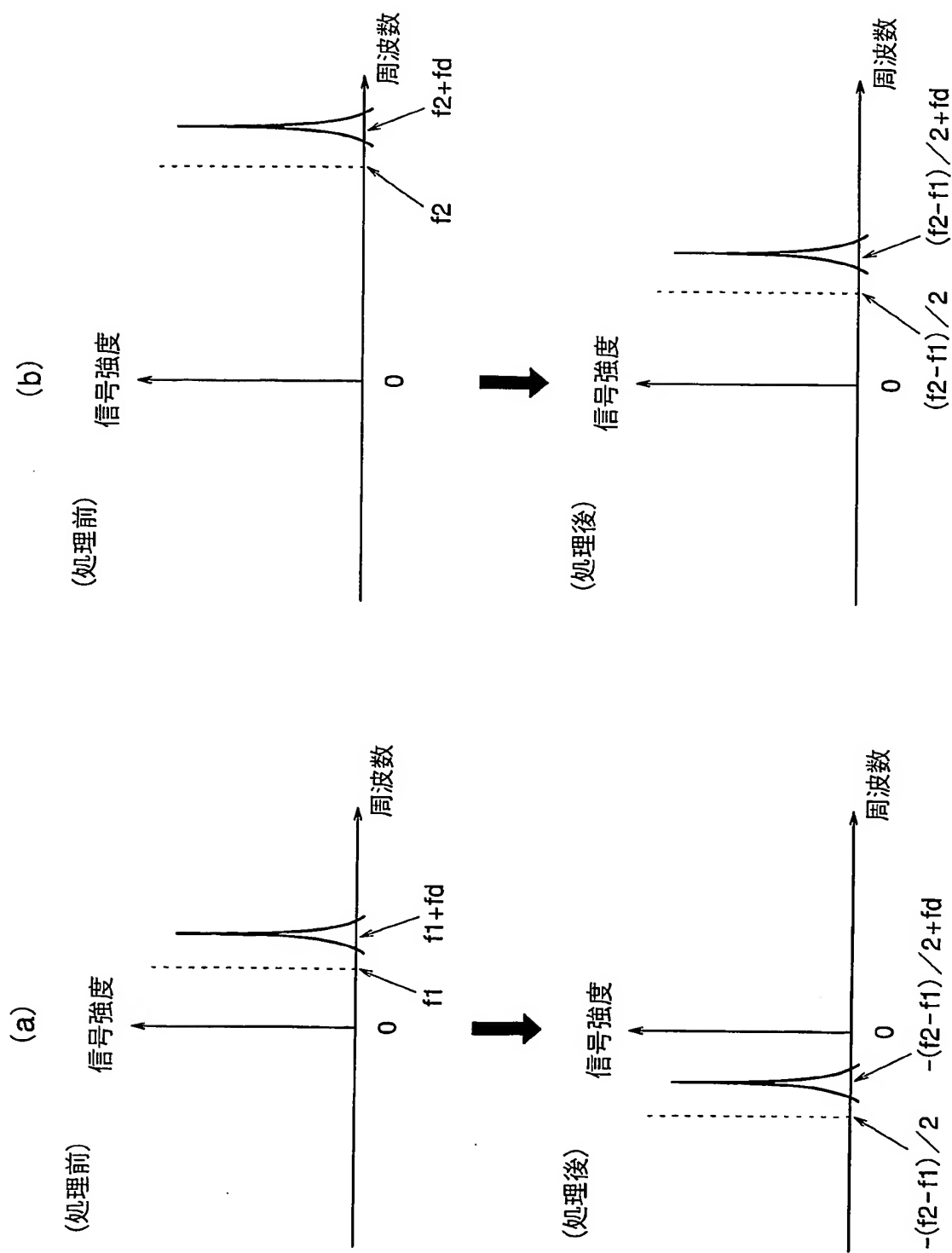


図 17

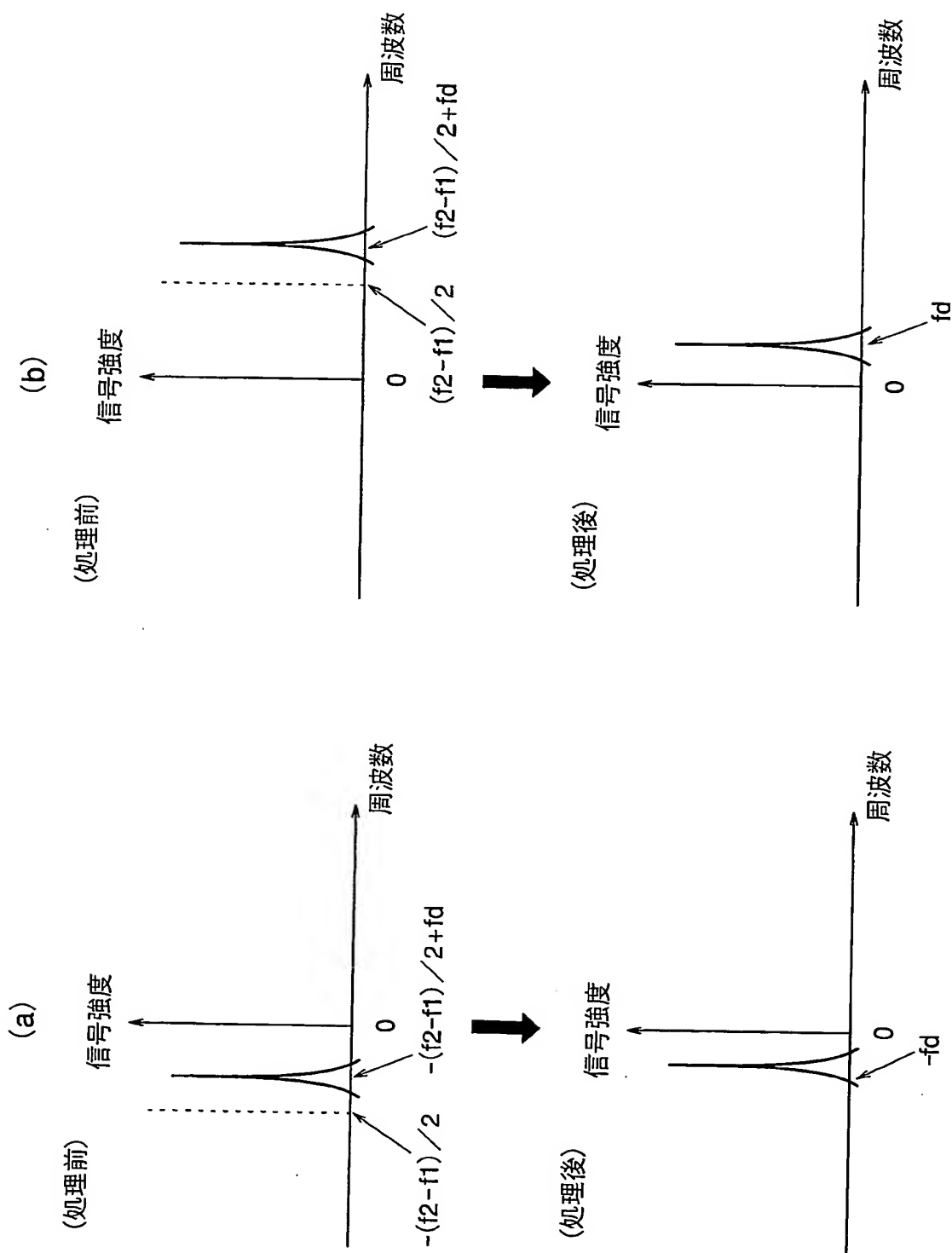




図 19

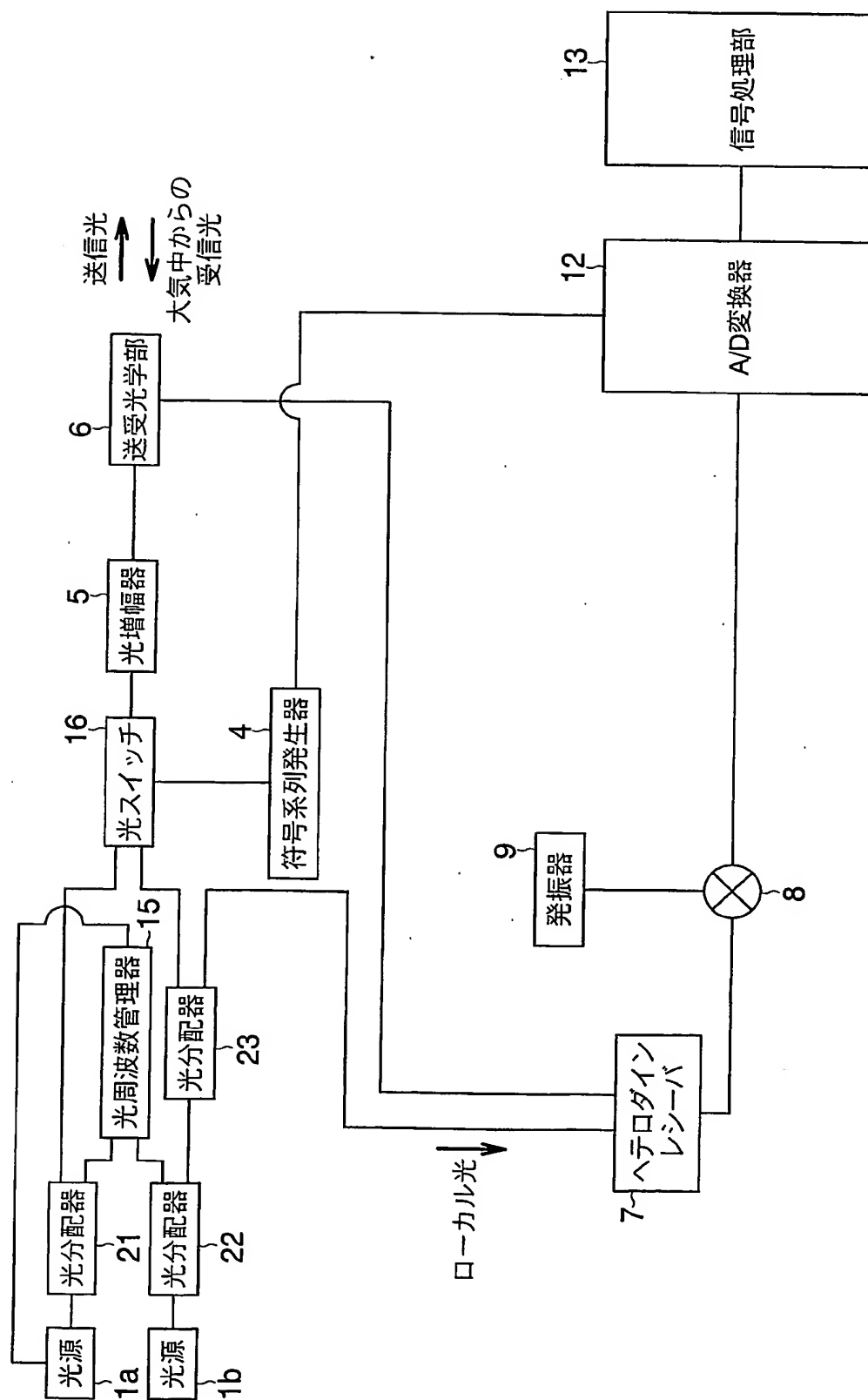


図 20

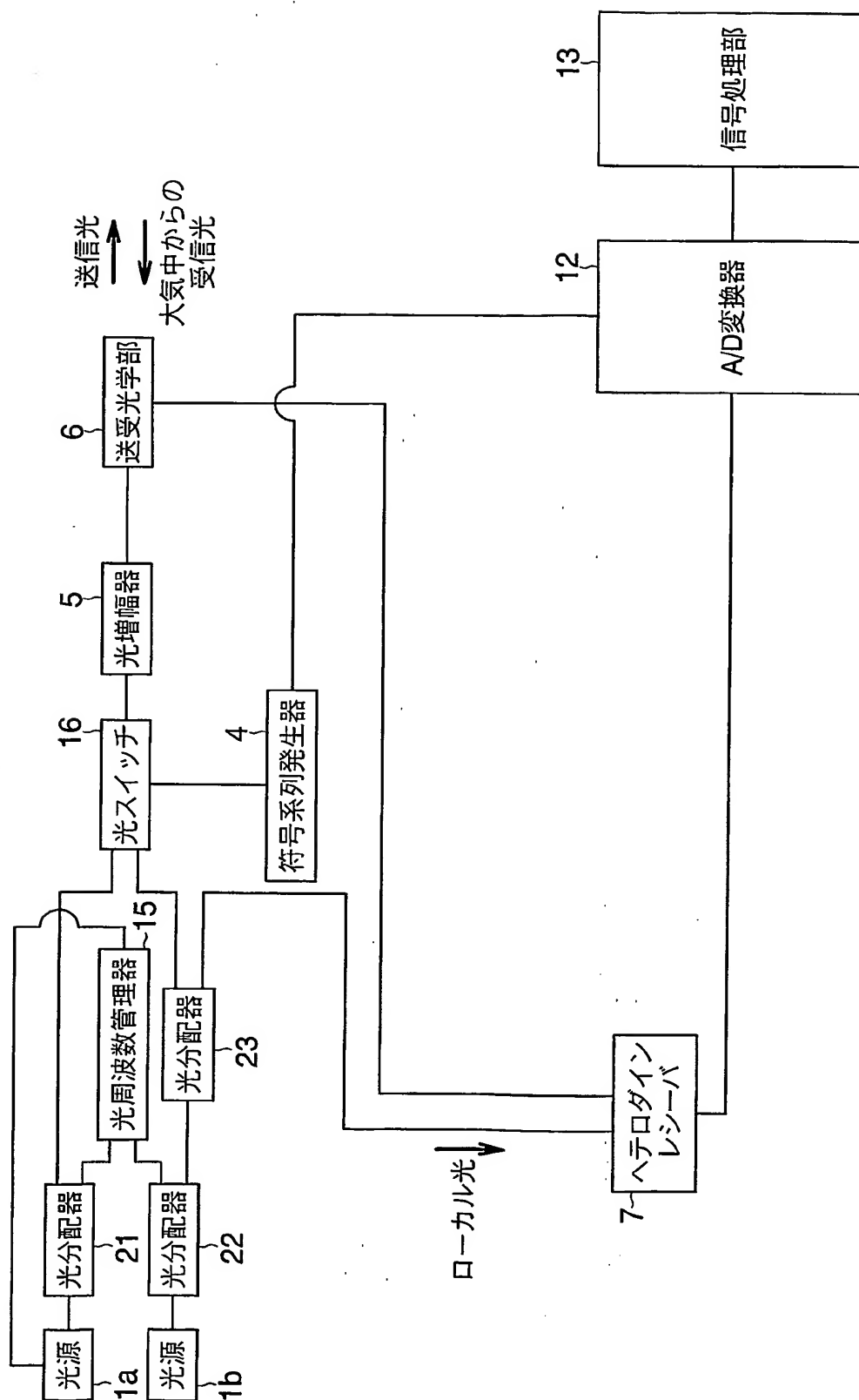




図 21

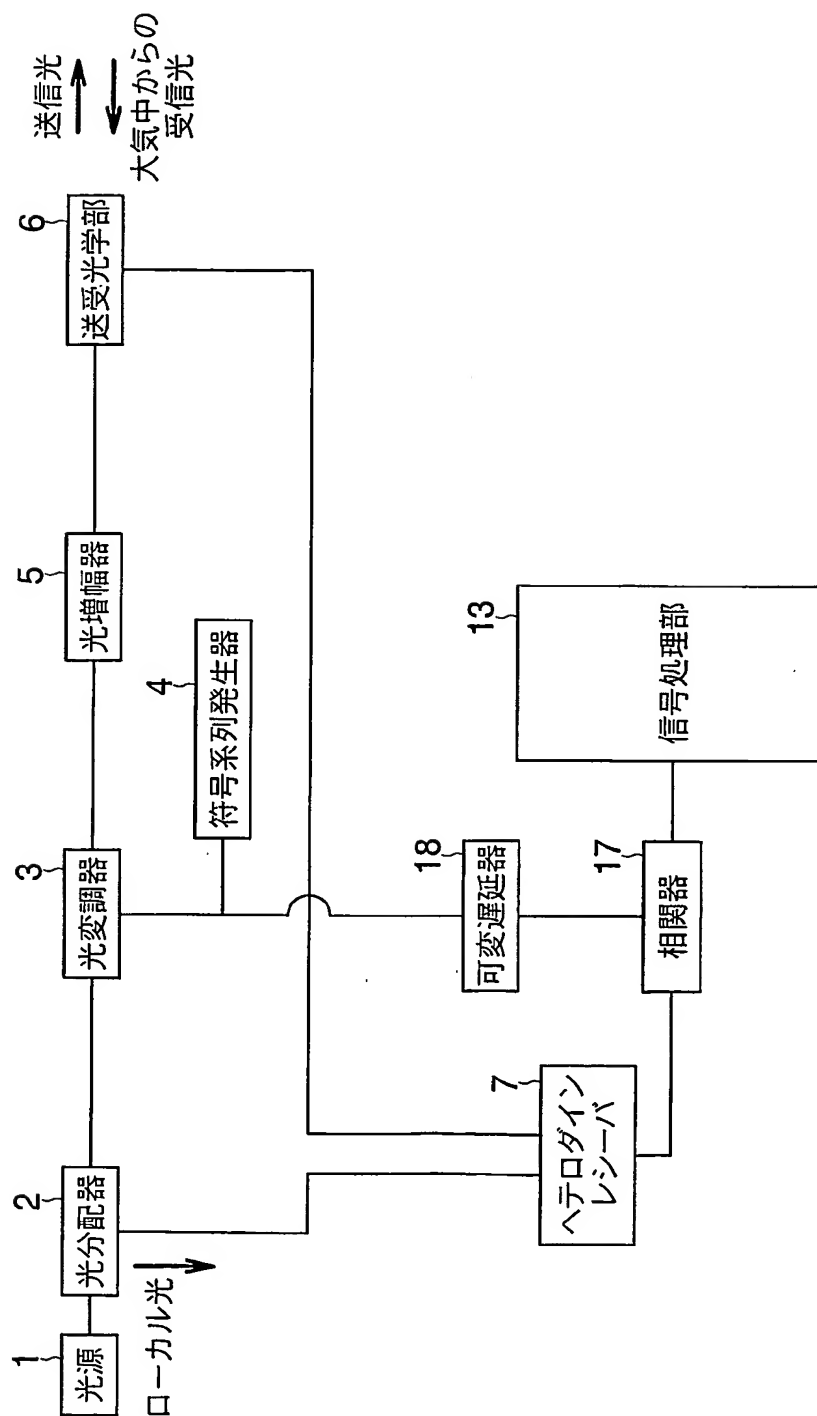
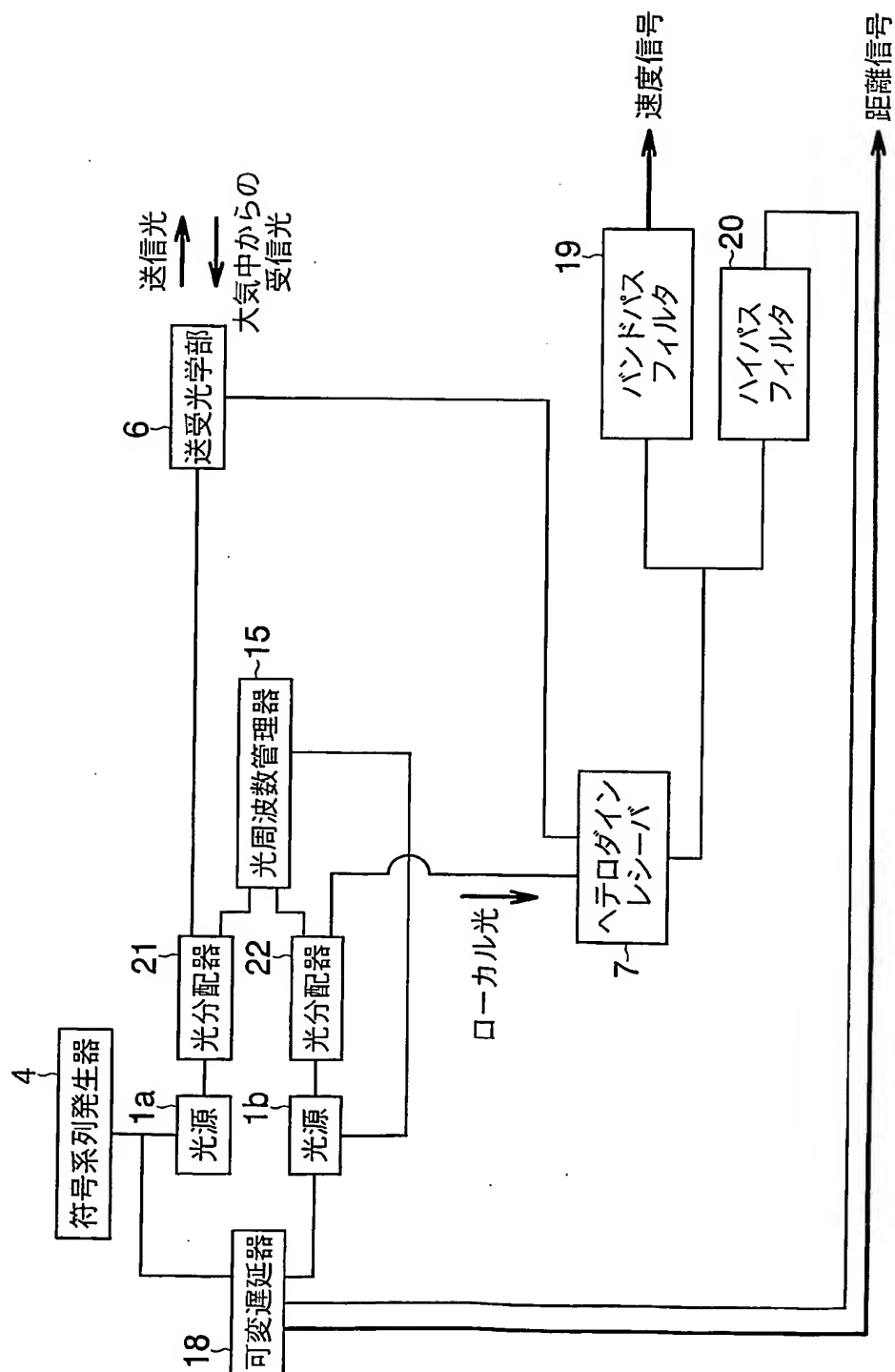


図 22



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/05215

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01S17/58, G01P3/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01S7/00-7/42, G01S7/48-7/51, G01S13/00-13/95,  
G01S17/00-17/95, G01P3/36, G01P5/00, G01F1/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-338246 A (Mitsubishi Electric Corp.),	1-2
Y	08 December, 2000 (08.12.00),	3-5
A	Full text; all drawings (Family: none)	6-9
Y	JP 2-114241 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.),	3
	26 April, 1990 (26.04.90),	
	Full text; all drawings (Family: none)	
Y	JP 8-304541 A (Mitsubishi Electric Corp.),	4
	22 November, 1996 (22.11.96),	
	Full text; all drawings (Family: none)	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
01 July, 2002 (01.07.02)Date of mailing of the international search report  
16 July, 2002 (16.07.02)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP02/05215

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-148326 A (NKK Corp.), 27 May, 1994 (27.05.94), Full text; all drawings (Family: none)	5
A	US 4167329 A (Raytheon Co.), 11 September, 1979 (11.09.79), Full text; all drawings & JP 54-89780 A	1-9

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01S17/58, G01P3/36

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01S7/00-7/42, G01S7/48-7/51, G01S13/00-13/95,  
G01S17/00-17/95, G01P3/36, G01P5/00, G01F1/66

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP 2000-338246 A (三菱電機株式会社) 2000. 12. 08 全文、全図 (ファミリーなし)	1-2 3-5 6-9
Y	JP 2-114241 A (松下電器産業株式会社) 1990. 04. 26 全文、全図 (ファミリーなし)	3
Y	JP 8-304541 A (三菱電機株式会社) 1996. 11. 22 全文、全図 (ファミリーなし)	4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 07. 02

国際調査報告の発送日

16.07.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JPO)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

神谷 健一



2S

9705

電話番号 03-3581-1101 内線 3257

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 6-148326 A (日本鋼管株式会社) 1994. 05. 27 全文、全図 (ファミリーなし)	5
A	US 4167329 A (Raytheon Company) 1979. 09. 11 全文、全図 & JP 54-89780 A	1-9